

LABORATÓRIO REMOTO DE FÍSICA: UMA MONTAGEM PARA OS EXPERIMENTOS DE ACÚSTICA E HIDROSTÁTICA

THIAGO COSTA CAETANO

tccaetano@yahoo.com.br | Universidade Federal de Itajubá, Brasil

RESUMO

As atividades experimentais desempenham um papel de fundamental importância no ensino de ciências e estas deveriam ser utilizadas de maneira frequente em sala de aula. Todavia, diversas são as pesquisas que apontam inúmeros desafios à utilização dessas atividades na escola básica, muitas delas relacionadas a questões estruturais. Pensando nisso, iniciou-se há alguns anos a construção de um laboratório didático localizado no Instituto de Física e Química da Universidade Federal de Itajubá - Brasil, cujo acervo é constituído totalmente por experimentos que podem ser controlados à distância através da Internet. Neste trabalho apresentamos um conjunto experimental desenvolvido para este laboratório e que pode ser utilizado na realização de dois experimentos: "Acústica" e "Hidrostática", duas áreas que apresentam amplo potencial de investigação no ensino da Física. Cada experimento é discutido separadamente abordando seus aspectos conceituais e instrumentais. Para cada caso é feito um ensaio experimental e os resultados obtidos são apresentados para demonstrar como é possível obter dados de qualidade a partir do conjunto em questão. As respectivas interfaces dos usuários são apresentadas e suas principais funções são explicadas neste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE

atividades experimentais; laboratório remoto; ensino de física; experimentação; ensino de ciências.



SISYPHUS

JOURNAL OF EDUCATION

VOLUME 7, ISSUE 02,

2019, PP.92-118

DOI: <https://doi.org/10.25749/sis.17540>

PHYSICS REMOTE LABORATORY: A KIT FOR ACOUSTIC AND HYDROSTATIC EXPERIMENTS

THIAGO COSTA CAETANO

tccaetano@yahoo.com.br | Universidade Federal de Itajubá, Brazil

ABSTRACT

Experimental activities play a key role in science education and should be used more often in the classroom. However, there are several researches that point out numerous challenges for using those activities in school, many of them related to structural issues. Taking this into account, the construction of a didactic laboratory located at Physics and Chemistry Institute, Federal University of Itajubá – Brazil, has begun a few years ago, whose collection consists entirely of experiments that can be remotely controlled through the Internet. In this work we present an experimental set developed for this laboratory meant to be used in two experiments: "Acoustics" and "Hydrostatic", two areas that present a great research potential in the Physics teaching. Each experiment is discussed separately addressing its conceptual and instrumental aspects. For each case an experimental test is made and the results obtained are presented to demonstrate how it is possible to obtain quality data from the set in question. The user interfaces are presented and their main functions are explained in this work.

KEY WORDS

experimental activities; remote laboratory; physics teaching; experimentation; science teaching.



SISYPHUS

JOURNAL OF EDUCATION

VOLUME 7, ISSUE 02,

2019, PP.92-118

DOI: <https://doi.org/10.25749/sis.17540>

Laboratório Remoto de Física: Uma Montagem Para os Experimentos de Acústica e Hidrostática

Thiago Costa Caetano

INTRODUÇÃO

Quando o assunto é o uso de experimentação no ensino de ciências, existem alguns pontos que estão presentes nas pesquisas da área de maneira recorrente, entre eles, aquele que se refere ao papel que as atividades experimentais possuem no processo de ensino e as suas contribuições para a aprendizagem (Araújo & Abib, 2003; Arruda & Laburú, 1998; Binsfeld & Auth, 2011; Borges, 2002; Delizoicov & Angotti, 1994; Giordan, 1999; Hodson, 1996; Pinho Alves, 2000; Sandoval & Cudmani, 1992; Seré, Coelho, & Nunes, 2003). Parece haver um consenso de que essas atividades têm caráter imprescindível no ensino, desde que sejam planejadas de forma adequada e sejam devidamente fundamentadas pedagógica e epistemologicamente. As atividades experimentais apresentam um grande potencial para familiarizar os estudantes com os métodos da ciência, levar ao desenvolvimento do raciocínio lógico, facilitar a compreensão de conceitos abstratos, estabelecer relações entre o conteúdo das aulas teóricas e as evidências experimentais, entre muitos outros.

Referindo-se à Física de modo particular, apesar do claro potencial que as atividades experimentais possuem, o fato é que na grande maioria das vezes ensina-se segundo os moldes de um curso numérico, abarrotado de fórmulas e de discussões matemáticas que levam os estudantes a lidarem mais com problemas numéricos que com os conceitos propriamente, sem qualquer experimentação em absoluto. Entre os principais fatores apontados pelos professores como justificativa para esse comportamento recalcitrante, os mais frequentes estão relacionados à falta de tempo, à estrutura da escola, ao número elevado de alunos por turma, à remuneração e a sua própria formação inicial (Andrade & Massabni, 2011; Kanbach, Laburú, & Silva, 2005; Moreira & Axt, 1991; Pena & Ribeiro Filho, 2009; Ramos & Rosa, 2008; Zancul, 2008; Zanon & Uhmman, 2013), a qual se revela deficiente nesse aspecto. O professor parece não ter domínio de laboratório e sente-se inseguro quanto ao seu papel e quanto ao papel que a própria atividade possui.

Diversas propostas de alguma forma relacionadas ao uso de atividades experimentais vêm sendo apresentadas nas últimas décadas e têm constituído algumas alternativas para os obstáculos e as dificuldades mencionadas. A título de exemplo, alguns trabalhos como os apresentados por Bender, Sbardelotto e Magno (2004), de Souza et al. (2011), Duarte (2012), Silva e Assis (2012) e Jesus e Sasaki (2014), propõem atividades que combinam materiais baratos, programas gratuitos e o uso do computador, oferecendo assim uma possibilidade de contornar algumas dificuldades advindas da escassez de material e de estrutura, visto que para as atividades propostas não é necessária nenhuma estrutura laboratorial sofisticada. Nos trabalhos de Medeiros e Bezerra Filho (2000), Santos, Piassi e Ferreira (2004) e Ostermann e Ricci (2005) são

abordadas questões concernentes à formação de professores e são apresentados também relatos de atividades com contribuições diretas para essa área.

Mais recentemente, em um contexto de inúmeros avanços tecnológicos, alguns trabalhos têm chamado a atenção para uma possibilidade interessante: oferecer acesso a experimentos reais através da Internet (Auer et al., 2018; Canu & Duque, 2015; Fidalgo et al., 2013; GOLC, 2012; Lopes, 2007; Oliveira et al., 2009; Orduña et al., 2018; Silva et al., 2013; Zutin, 2018). São os chamados laboratórios remotos, ou laboratórios com acesso remoto aos experimentos, ou ainda, *WebLabs*.

A terminologia ainda não está bem estabelecida pois se trata de um recurso bastante recente e de uso ainda muito restrito, e, portanto, alvo de muitas discussões. De fato, a maioria dos laboratórios assim intitulados são, na verdade, *websites* contendo conjuntos de simulações, programas, ambientes colaborativos com ferramentas computacionais integradas, entre outras coisas de mesma natureza. Nesses casos não há experimentos reais que possam ser manipulados e observados à distância. Parece haver, portanto, espaço para sugerir uma convenção quanto aos termos empregados: o termo *laboratórios virtuais* será utilizado para se referir a esses objetos constituídos essencialmente por programas de computador e realidade virtual, e o termo *laboratório remoto* será empregado para se referir a laboratórios com experimentos reais que podem ser controlados remotamente.

O Laboratório Remoto de Física da Universidade Federal de Itajubá, ou simplesmente labremoto, como será chamado neste trabalho, é um desses laboratórios e contém atualmente experimentos didáticos de Física¹ que podem ser manipulados à distância e observados em tempo real com auxílio da comunicação via Internet. Seu desenvolvimento teve início no ano de 2012, mas seu crescimento mais significativo passou a ocorrer apenas a partir de 2015 com a inauguração das novas instalações do Instituto de Física e Química – IFQ. Exceto por algum impedimento de ordem técnica, como manutenção de rotina, os experimentos do laboratório podem ser acessados a qualquer momento e de forma totalmente gratuita. Mais informações relativas ao projeto do labremoto estão disponíveis através do *website* <https://labremoto.unifei.edu.br>. Sugere-se ao leitor principalmente a leitura de seção “Apresentação”.

O foco deste trabalho é apresentar um conjunto experimental que foi construído para integrar o acervo deste laboratório, a partir do qual é possível a realização de dois experimentos: “Acústica” e “Hidrostática”, duas áreas contempladas com menos frequência entre os trabalhos com propostas de atividades experimentais (Azevedo et al., 2009) ou mesmo didático-teóricas. A apresentação do conjunto em si é feita aqui de forma bastante sucinta, fornecendo apenas os detalhes de sua construção considerados relevantes para que o leitor desenvolva uma noção operacional dos experimentos e também para que seja possível algum tipo de avaliação sobre a confiabilidade e a precisão dos dados que se pode obter. Na sequência são apresentados os procedimentos experimentais para cada um dos casos. As considerações feitas abordam questões tanto de cunho conceitual quanto instrumental. As interfaces do usuário são apresentadas também, mais especificamente, os painéis de controle das interfaces, considerando-se que os demais elementos que as compõem são bastante simples e autoexplicativos.

¹ Existe uma grande probabilidade de que o laboratório se converta em um laboratório remoto de ciências nos próximos anos.



O LABORATÓRIO REMOTO: ESTRUTURA, FUNCIONAMENTO E POTENCIALIDADES

Naquilo que se refere à estrutura do laboratório, o servidor central e os experimentos disponíveis atualmente estão situados nas dependências do Instituto de Física e Química da Universidade Federal de Itajubá. A forma como seus componentes estão organizados é mostrada esquematicamente na Figura 1. A seguir damos uma noção do seu funcionamento.

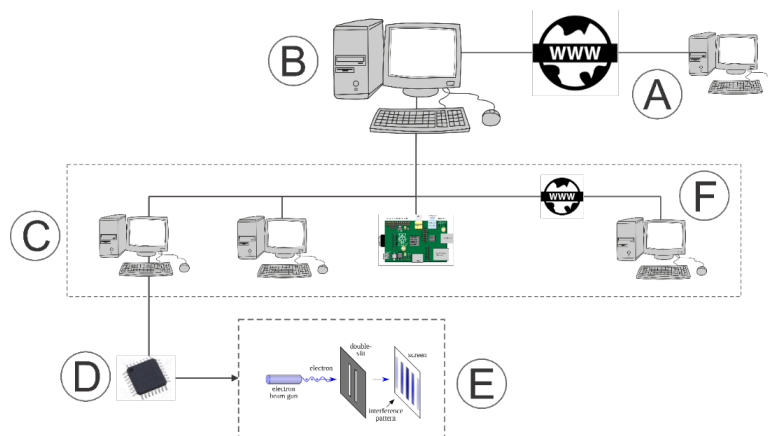


Figura 1. Esquema da estrutura do laboratório remoto de Física.

Conforme a Figura 1, ao acessar o *website* do laboratório, o cliente (representado no diagrama pela letra A) se conecta ao servidor central, representado pela letra B. Esse computador é responsável pelo *website*, pelo sistema que gerencia os agendamentos para o uso dos experimentos e pelo banco de dados do laboratório.

A página é fornecida ao cliente pelo servidor B e é constituída de diversas linguagens, algumas executadas no servidor (*server side script*) e outras na máquina do próprio cliente (*cliente side script*). Antes mesmo da página ser exibida, o servidor executa os códigos em PHP (*Hypertext Preprocessor*) e algumas requisições que precisa fazer ao banco de dados em linguagem MySQL. Após essa etapa a página está pronta para ser enviada ao computador do cliente contendo HTML (*Hypertext mark-up language*), CSS (*Cascade Style Sheet*) e *Javascript*, que são responsáveis pelo layout e pelas ações que irão ocorrer na página enquanto essa estiver no computador do cliente.

Quando um experimento é selecionado através do site, o computador central (servidor B) envia ao cliente a página correspondente, a qual realiza automaticamente a conexão com o servidor do experimento escolhido (qualquer um dos computadores na região C da Figura 1). Os computadores na região C executam programas escritos em *Python* que possuem duas grandes funções: a) obter a imagem das câmeras, codificá-las e transmiti-las ao cliente. Isso é chamado *streaming* de vídeo e é feito de forma direta. Ou seja, os dados das câmeras não passam pelo servidor central; b) conectar-se com o microcontrolador do experimento através de uma porta USB (representado pela letra D no diagrama, normalmente um chip da família ATmega, o mesmo utilizado nas placas Arduino), permitindo que o cliente envie e receba comandos através da interface do experimento.

Um dos aspectos mais interessantes a ser notado na região C do diagrama é o fato de que os computadores e, portanto, também os experimentos, não necessitam estar no mesmo local. Repare que o computador F é um servidor dedicado a um experimento, mas não está no mesmo local onde estão os outros três servidores da mesma região do diagrama. Enquanto esses três últimos se comunicam com o servidor B por meio da intranet (rede interna), o computador F se comunica através da Internet (*world wide web*), exatamente do mesmo modo que o cliente. Quando a conexão com o experimento ocorre, há o que chamamos de *by-pass* e o cliente passa a estar conectado diretamente com o computador F sem o intermédio de nenhum outro. Essa estrutura torna possível que um experimento seja construído em qualquer lugar do mundo e integrado ao acervo do laboratório remoto, bastando apenas que o endereço IP (*Internet Protocol Address*) do computador ligado ao experimento seja informado à administração do servidor central B.

Outro aspecto que chama a atenção é que nem todos os dispositivos na região C são computadores dos tipos *Desktop* ou *Notebook*. De fato, a palavra computadores possui aqui um significado muito mais abrangente. No diagrama da Figura 1, por exemplo, é mostrado uma *Raspberry Pi*², um minicomputador. A utilização dessa variedade de dispositivos é possível pois a linguagem que foi empregada nesses servidores, *Python*, é uma linguagem multiplataformas, um dos fatores que foram levados em consideração no momento da sua escolha, além do fato de que se trata de uma linguagem bastante versátil e gratuita.

O último elemento do diagrama, o microcontrolador (representado pela letra D) gerencia todas as ações no experimento automatizado e também possui um código embutido em si que emprega a linguagem C++. Ao receber uma instrução do cliente por meio da interface, o microcontrolador interpreta essa instrução e coordena a ação correspondente. Esta pode ser o movimento de um motor de passo, de um servomotor, a leitura de um sensor, o acionamento de um relé, etc. Para a execução das ações, no entanto, são necessários componentes adicionais, como relés e amplificadores de potência, motivo pelo qual normalmente é necessário o desenvolvimento de um circuito eletrônico específico para cada experimento.

Os experimentos do laboratório podem ser acessados gratuitamente a qualquer momento e não é necessário realizar nenhum tipo de cadastro. Os acessos intempestivos estão limitados a sessões de cinco minutos, entretanto, como a utilização deste recurso em sala de aula segue uma logística diferenciada, que requer planejamento antecipado e acesso reservado em momentos determinados, o *website* oferece um sistema de gestão através do qual os usuários podem realizar o agendamento para o uso dos experimentos. De acordo com os termos de uso do laboratório³, para a utilização deste recurso em particular é necessário que o usuário possua um cadastro, também gratuito. Ao fazê-lo, a opção "*Meus agendamentos*" se torna disponível no menu principal e o usuário pode acompanhar o histórico contendo todos os agendamentos que já realizou.

Conforme o funcionamento do laboratório, sua estrutura e gestão, percebe-se que um dos seus potenciais mais notáveis se refere à otimização da utilização dos recursos, equipamentos e insumos. A ampliação do acesso, que ocorre com auxílio da Internet, contribui para reduzir o tempo em que os equipamentos permanecem ociosos e tem potencial para elevar o número de usuários do laboratório. Tal potencial deve-se ao fato

2 Ver: <https://www.raspberrypi.org/>

3 Ver: <http://labremoto.unifei.edu.br/termos>



de que algumas barreiras deixam de existir, como a distância entre o usuário e o laboratório e certas restrições de acesso, como é o caso da maioria das instituições de ensino em que apenas estudantes matriculados em determinados cursos possuem acesso controlado ao laboratório, normalmente durante os horários das aulas e sempre nos horários de expediente da instituição.

Como os experimentos do laboratório remoto são automatizados e o acesso ocorre via Internet, não é necessário que haja uma pessoa presente no laboratório para prestar assistência durante todo o tempo. Também não é preciso que o laboratório permaneça aberto ao público. É possível, portanto, que qualquer equipamento do laboratório seja utilizado a qualquer momento do dia ou da noite, em qualquer dia da semana, a partir de qualquer local com conexão à Internet. É óbvio, contudo, que dois usuários não podem controlar o mesmo experimento simultaneamente e por isso o *website* realiza a gestão dos acessos. Ao tentar acessar um experimento que já está sendo utilizado por outra pessoa, o usuário recebe uma mensagem informando-o que o experimento se encontra ocupado e quanto tempo resta para o término da sessão atual.

Ainda tratando das potencialidades do laboratório remoto, agora de um ponto de vista mais global, a Figura 2 ilustra de que forma pode ocorrer o uso compartilhado de equipamentos distribuídos em diversos laboratórios localizados em quaisquer lugares do mundo, conferindo ao laboratório remoto um rico acervo de experimentos.

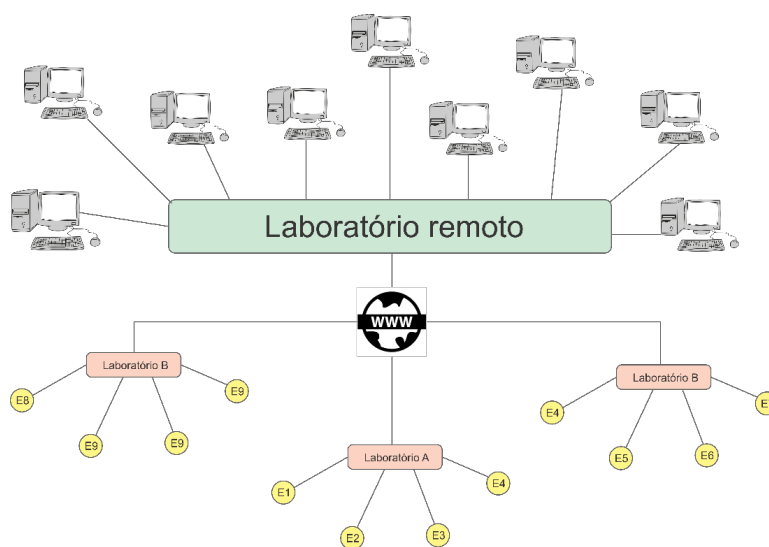


Figura 2. Esquema ilustrativo para uma rede de laboratórios integrantes de um único grande laboratório remoto.

Nenhum dos laboratórios convencionais mostrados na Figura 2 possui tantos experimentos quanto o laboratório remoto idealizado na figura. Todos os experimentos, de E1 até E9, fariam parte de seu acervo e algumas repetições ocorreriam, como no caso dos experimentos E4 e E9. Isso é considerado algo bom, pois, no caso de um desses experimentos estar sendo utilizado por um usuário, haveria um segundo disponível e que poderia ser utilizado sem que fosse necessário aguardar o término da sessão para o primeiro.

Finalmente, não se pode deixar de mencionar o fato de que alguns experimentos caros e/ou perigosos, poderiam se tornar acessíveis ao público sem que houvesse compromisso à sua segurança e sem impacto financeiro para os mesmos. Para dar um

simples exemplo, o experimento denominado “Trilho de ar” é muito comum em cursos superiores, nas práticas de Física, especialmente na área de Mecânica, e é utilizado para estudos relacionados ao deslocamento retilíneo de um corpo sem atrito. Para as instituições escolares de nível básico, no entanto, a aquisição e manutenção de um experimento como esse não é algo tão trivial, pois são equipamentos relativamente caros. Os valores tornam-se ainda mais proibitivos para algumas outras áreas, como é o caso da Física Moderna e Contemporânea, onde são utilizados o interferômetro de Michelson e o experimento de Franck-Hertz, por exemplo.

PRESSUPOSTOS EDUCACIONAIS DO LABORATÓRIO

A importância que as atividades experimentais possuem na aprendizagem de conteúdos de ciências constitui o principal pressuposto do desenvolvimento das atividades experimentais controladas remotamente. Como mencionado anteriormente, a opinião de que tais atividades são essenciais no ensino é dominante. Para Rosito (2003), tais atividades favorecem a interação entre professor e aluno, proporcionando um planejamento conjunto e o uso de estratégias de ensino que podem levar à melhor compreensão dos processos da ciência.

As atividades experimentais constituem uma via para garantir que os aspectos apontados por Hodson (1994, citado em Rosito, 2003) estejam presentes no ensino de ciências, quais sejam estes: a aprendizagem de Ciências, a aprendizagem sobre a natureza das ciências e aprendizagem sobre a prática das ciências. Tais aspectos concordam com os princípios que foram elencados por Moraes (1993), os quais devem constituir um guia à elaboração de currículos para o ensino de ciências. O autor destaca que o ensino nessa área deve ser interdisciplinar, voltado para questões cotidianas, envolvendo conteúdos e problemas na relação das ciências com a tecnologia e sociedade, deve promover a autonomia e o crescimento pessoal do aluno, entre outros. Segundo Barberá e Valdés (1996) as atividades experimentais podem contribuir para desenvolver o raciocínio prático do indivíduo, familiarizá-lo com o instrumental tecnológico e fazer com que desenvolva competências técnicas.

Entretanto, tomando-se como objetivos todos os pontos que foram indicados anteriormente e que são almejados pelo ensino de ciências (aprendizagem sobre ciências, sobre seus métodos, sua natureza, ensino interdisciplinar, que promova autonomia do aluno, etc.), e considerando ainda que as atividades experimentais sejam um caminho para isso, há de se considerar uma componente de suma importância para que o ensino seja bem-sucedido: um planejamento adequado para o uso de tais atividades, em que o seu papel seja bem compreendido e sejam claras as suas potencialidades e limitações, ou corre-se o risco de que o uso do laboratório não passe de mais uma estratégia de ensino frustrada (Villani, 2003).

Borges (2002) aponta que a crença de que os estudantes aprendem melhor através da manipulação direta dos objetos trata-se de uma simplificação grosseira. O importante “não é a manipulação de objetos e artefatos concretos, e sim o envolvimento comprometido com a busca de respostas/soluções bem articuladas para as questões colocadas, em atividades que podem ser puramente de pensamento” (Borges, 2002, p.



275). Nesse sentido, o uso do laboratório tido como tradicional (Ferreira, 1985; Moreira & Levandowski, 1983; Pinho Alves, 2000) tem sido desaconselhado devido ao papel passivo do aluno no processo de ensino-aprendizagem. Ao contrário, uma boa aprendizagem tem como pressuposto uma participação ativa do mesmo, de modo a permitir que o indivíduo construa seu próprio conhecimento (Brooks & Brooks, 1999; Harper & Hedberg, 1997; Mintzes, Wandersee, & Novak, 2000; Novak & Gowin, 1999). Chegamos assim ao segundo pressuposto educacional por trás do laboratório remoto: os experimentos e as ferramentas desenvolvidas não devem impor restrições ao tipo de metodologia que pode ser empregada. De fato, os experimentos do laboratório são, de uma forma geral, experimentos mais elaborados, que permitem que o usuário conceba o procedimento com vistas à coleta de dados, tomando-se como ponto de partida determinado modelo teórico, certas hipóteses. A ideia é que os experimentos possam ser úteis em processos investigativos, situações problematizadoras, que permitam que os usuários trabalhem com dados reais. Eles devem ser capazes de fazer previsões sobre o comportamento do sistema, saber que variáveis controlar, explicar os resultados observados e identificar as fontes dos erros. Essa é a concepção que permeia o projeto do laboratório remoto e explica, por exemplo, o porquê de os usuários muitas vezes precisarem realizar leituras de instrumentos de medidas reais através da imagem de câmeras ao invés de receberem essas informações diretamente na interface, obtidas por meios eletrônicos.

Diversas pesquisas têm mostrado que, apesar da sua reconhecida importância e potencial contribuições ao ensino, as atividades experimentais não têm sido utilizadas nas salas de aula por diversas razões, como, por exemplo: falta de estrutura laboratorial, falta de materiais, deficiência na formação docente, turmas excessivamente grandes e carga horária reduzida da disciplina (Borges, 2002; Kanbach, Laburú, & Silva, 2005; Laburú, Barros, & Kanbach, 2007; Moreira & Axt, 1991; Pena & Ribeiro Filho, 2009; Ramos & Rosa, 2008; Zancul, 2008). Como alternativa às dificuldades relacionadas mais especificamente à falta de materiais e de estrutura laboratorial, muitas propostas vêm sendo feitas nas quais o computador assume um papel central, fornecendo acesso a simulações, por exemplo (Amaral, Ávila, & Tarouco, 2012; Dias, Pinheiro, & Barroso, 2002; Leal, Fernandes, & Leal, 2009; Silva, 2012). Conforme apontam Macêdo, Dickman e Andrade (2012), embora tais recursos contribuam para que o processo de aprendizagem se torne mais efetivo quando devidamente incorporados à prática docente, é preciso reconhecer que

uma animação não é, jamais, uma cópia fiel do real. Toda animação, toda simulação está baseada em uma modelagem do real. Se essa modelagem não estiver clara para professores e educandos, se os limites de validade do modelo não forem tornados explícitos, os danos potenciais que podem ser causados por tais simulações são enormes. Tais danos tornar-se-ão ainda maiores se o modelo contiver erros grosseiros. (Medeiros & Medeiros, 2002, p. 81)

E esse aspecto que está presente nas simulações, nas animações de uma forma geral, nos chama a atenção para um fato importante, qual seja:



as modernas técnicas computacionais têm tornado as representações visuais e simulações computacionais fáceis e verdadeiramente espetaculares. Ao mesmo tempo, contudo, elas têm criado uma tendência perigosa de uso exagerado de animações e simulações considerando-as como alternativas aos experimentos reais, como se tivessem o mesmo status epistemológico e educacional. (Medeiros & Medeiros, 2002, p. 80)

O terceiro pressuposto do laboratório é construído, portanto, a partir de dois pontos que estão, de certa forma, correlacionados: a experimentação remota como uma alternativa às dificuldades que os docentes enfrentam na implementação de atividades experimentais no ensino de ciências e a experimentação remota como uma forma de realizar experimentos reais. Com relação ao primeiro ponto é necessário um esclarecimento adicional, todavia. A experimentação remota só se tornará verdadeiramente uma alternativa a tais dificuldades se, para além do acesso aos equipamentos do laboratório, também existir algum tipo de formação, de preparação para o uso. É por essa razão que iniciativas no âmbito da formação continuada dos professores, especificamente no que se refere à utilização de experimentos remotos, fazem parte do projeto do laboratório remoto e devem ser abordadas em trabalhos posteriores. O segundo ponto pode parecer, à primeira vista, uma inferência lógica do primeiro, mas não se trata disso e sim de uma condição de contorno aplicável ao primeiro. Significa que a alternativa que se busca encontrar, no âmbito deste trabalho, é para a realização de atividades experimentais com experimentos reais e não qualquer alternativa.

Alguns aspectos se tornarão mais claros ao leitor nas seções seguintes, onde é descrita a construção de um conjunto experimental para o laboratório.

DESCRIÇÃO SUCINTA DO CONJUNTO EXPERIMENTAL

A Figura 3 contém um esquema do conjunto utilizado para ambos os experimentos, “Acústica” e “Hidrostática”. O corpo consiste em um tubo de vidro transparente com aproximadamente um metro de comprimento e 40 mm de diâmetro. Na extremidade inferior do tubo foi construído um sistema que inclui uma válvula solenoide (item B da figura) controlada eletronicamente, a qual regula o fluxo de saída da água, e uma câmara barométrica (item A da figura), no interior da qual foi colocado um sensor BMP085⁴. A água é levada até o interior do tubo F através da mangueira D a partir do reservatório E por meio de uma bomba hidráulica que fica submersa. Algumas fotografias de áreas específicas do esquemático foram utilizadas na Figura 3 para mostrar o aspecto real do experimento. Mais fotografias podem ser encontradas no endereço <http://labremoto.unifei.edu.br/galeria>.

4 Ver: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/General/BST-BMP085-DS000-05.pdf>



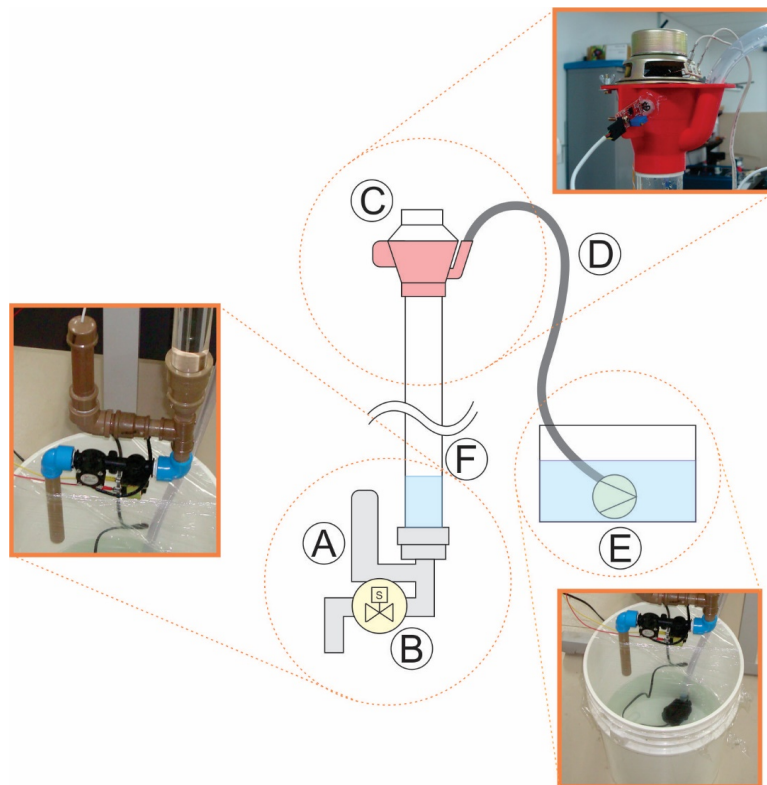


Figura 3. Esquema de montagem dos experimentos “Acústica” e “Hidrostática”.

Esse tipo de sensor fornece medidas tanto de pressão quanto de temperatura e não foi projetado para trabalhar submerso. Por essa razão, o projeto e a construção da câmara barométrica oferecem certo grau de dificuldade. Exceto por uma abertura na sua parte inferior, a câmara precisa estar hermeticamente fechada para que seja possível medir o aumento da pressão provocada pela coluna d’água no tubo. A pressão em seu interior também impede que o nível da água se eleve o suficiente para alcançar o sensor. Como precaução adicional, a extremidade inferior da câmara é vedada com uma membrana impermeável que impede que a evaporação na superfície do líquido se condense sobre o sensor, danificando-o com o tempo. A membrana é colocada de tal maneira que sua elasticidade não interfira nas medidas.

Uma alternativa ao uso do BMP085 seria o sensor MS5803⁵ que pode trabalhar submerso e eliminaria, portanto, a necessidade de uma câmara barométrica, porém, seu custo é consideravelmente mais elevado e, por essa razão, não foi empregado nesse projeto.

Na extremidade superior do tubo é acoplado o componente mostrado na Figura 4, projetado especificamente para esse conjunto experimental e produzido com auxílio de uma impressora 3D. Sua função é auxiliar no posicionamento adequado de três elementos do conjunto: a mangueira para a entrada de água no tubo, o alto-falante (item C da Figura 3) e o sensor de intensidade sonora KY038. Os dois últimos são utilizados no experimento denominado “Acústica”, apresentado com detalhes mais adiante neste trabalho. Por ora, é o bastante esclarecermos que o principal propósito do componente

5 Ver: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/ms5803_14ba.pdf

em questão é possibilitar a entrada de água no sistema sem introduzir qualquer obstáculo no meio em que a onda sonora produzida pelo alto-falante irá se propagar.

Na Figura 4, a mangueira é inserida na abertura indicada pela letra A, o sensor de intensidade sonora é posicionado no orifício B e na abertura C é acoplado o alto-falante.

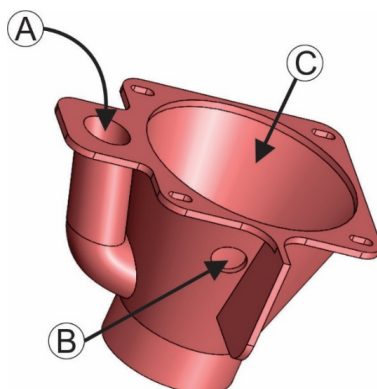


Figura 4. Componente acoplado à extremidade superior do tubo para posicionar a mangueira, o alto-falante e o sensor de intensidade sonora.

O projeto CAD (*Computer Assisted Design*) do componente, bem como a sua versão para utilização em impressoras 3D, podem ser baixados gratuitamente através do endereço <http://labremoto.unifei.edu.br/materiais>.

O reservatório, item E da Figura 3, pode ser qualquer recipiente grande o suficiente para comportar o volume de líquido necessário para encher o tubo, aproximadamente 1.25 litros, mais o volume necessário para manter a bomba hidráulica submersa. Nesse projeto foi utilizado um balde com volume aproximado de 20 litros. A abertura foi protegida com filme plástico transparente para preservar o sistema livre de impurezas por mais tempo. O acúmulo de partículas na água pode reduzir a vazão através da válvula solenoide, além de reduzir a eficiência do funcionamento da bomba. Por essas razões o sistema todo precisa passar por uma limpeza de tempos em tempos.

É claro que a operação de todos os componentes mencionados e sua interface com o computador dependem de um circuito eletrônico que foi desenvolvido para esse conjunto. Contudo, a descrição técnica desse circuito contendo detalhes do seu projeto, construção e funcionamento ultrapassam o escopo deste trabalho, já que esses aspectos não têm participação seja na concepção, planejamento ou na execução de atividades didáticas envolvendo o conjunto.

O EXPERIMENTO “HIDROSTÁTICA”

O experimento intitulado “Hidrostatica” é um dos experimentos que podem ser realizados com o conjunto experimental descrito neste trabalho e é bastante simples, consistindo basicamente em coletar medidas de pressão em função da altura da coluna d’água no tubo.



Como mencionado anteriormente, as medidas de pressão são calculadas a partir dos dados fornecidos pelo sensor dentro da câmara barométrica e a altura da coluna d'água deve ser lida pelo usuário diretamente na escala com auxílio de uma câmera móvel que acompanha o nível da água no tubo, conforme mostra a Figura 5. Evidentemente, a altura da coluna d'água poderia ser obtida a partir dos dados fornecidos pelo sensor e informada diretamente na interface do usuário, porém, isso seria contrário aos pressupostos pedagógicos do laboratório remoto⁶, segundo os quais a leitura e a interpretação dos dados, bem como o planejamento e a execução de procedimentos experimentais, são habilidades que devem ser desenvolvidas pelos usuários.

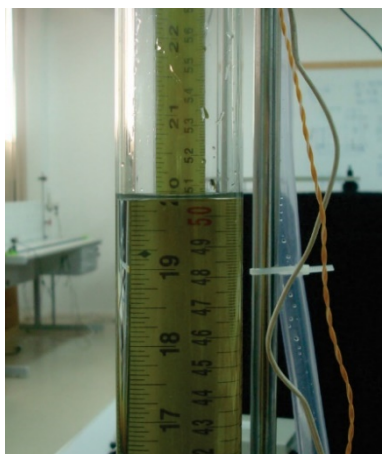


Figura 5. Imagem do tubo parcialmente cheio, com a escala métrica posicionada atrás dele para a leitura da altura da coluna d'água com auxílio de uma câmera móvel.

A partir dos dados coletados e com auxílio de um gráfico é possível deduzir a relação

$$P - P_0 \propto H \quad \text{Eq. 1}$$

em que P é a pressão em um ponto fixo localizado na base da coluna d'água, P_0 é a pressão atmosférica no laboratório e H , a altura da coluna d'água no tubo. Pode-se reescrever a mesma equação introduzindo-se uma constante de proporcionalidade que representa o produto de ρ , a densidade da água, pelo valor de g , a aceleração gravitacional no local. O resultado é a expressão

$$P - P_0 = \rho g H \quad \text{Eq. 2}$$

bastante conhecida através dos livros didáticos. Note que a densidade da água é adotada como uma constante e isso é recomendável, do ponto de vista didático, quando o experimento for utilizado entre estudantes da educação básica. Se a utilização ocorre com um público do ensino superior, por outro lado, torna-se propício explorar alguns outros aspectos, entre eles a relação existente entre a densidade da água e a

6 Ver: <http://labremoto.unifei.edu.br/apresentacao>

temperatura t , a qual também é fornecida pelo sensor na câmara barométrica. Nesse caso, a Eq. 2 assumiria a seguinte forma:

$$P - P_0 = \rho(t)gH \quad \text{Eq. 3}$$

Com base nos dados fornecidos por Lide (1991) obtém-se que a densidade da água no intervalo entre 15 e 30 graus Celsius, compatível com a amplitude térmica anual da cidade de Itajubá, Minas Gerais - Brasil, onde fica o laboratório, obedece a função a seguir, em que t é a temperatura em graus Celsius:

$$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) = -0.0055 (t/^\circ\text{C})^2 + 0.0157 (t/^\circ\text{C}) + 1000.1 \quad \text{Eq. 4}$$

A análise dessa expressão leva rapidamente à conclusão de que a variação da temperatura é um efeito que pode ser desprezado no experimento. Esse resultado pode ser explorado pelo professor dependendo de seus objetivos pedagógicos. Uma possibilidade seria propor que os estudantes obtenham a Eq. 4 a partir dos dados.

É útil esclarecermos aqui alguns aspectos relacionados ao cálculo da pressão com base nos dados fornecidos pelo sensor BMP085. Deve-se ter atenção ao fato de que a altura da coluna d'água medida pelo usuário diretamente na escala não corresponde àquela que provoca o aumento de pressão na câmara barométrica. Observe a Figura 6.

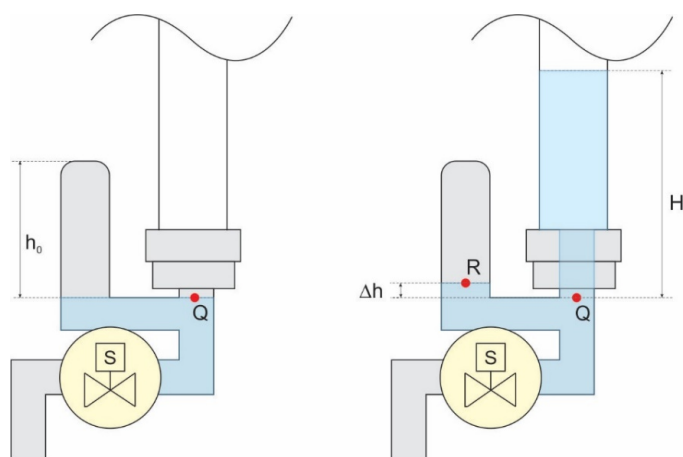


Figura 6. Esquema ilustrativo para demonstrar o princípio utilizado para o cálculo da pressão em um ponto fixo localizado na base da coluna d'água.

À esquerda tem-se um esquema do arranjo experimental no instante em que o nível da água atinge o ponto Q , localizado no mesmo nível da abertura na parte inferior da câmara barométrica. Considere por um instante que a câmara não seja vedada por uma membrana em sua parte inferior. Nesse caso, no instante em que a água atinge o ponto Q a câmara é selada e a pressão no seu interior corresponde à pressão atmosférica, a qual nos referiremos por P_0 . A pressão na câmara aumenta conforme a altura H da coluna d'água no tubo fazendo com que o ar em seu interior se comprima e o nível da água suba

uma quantidade Δh , conseqüentemente. A pressão medida pelo sensor em cada instante é, portanto, a pressão em um ponto R localizado na superfície da água dentro da câmara. Observa-se que o sensor BMP085 não está localizado exatamente no ponto R , mas a pressão medida por ele pode ser considerada, com boa aproximação, como a pressão nesse ponto, visto que o efeito da coluna de ar abaixo do sensor pode ser desprezado. A determinação do nível da água dentro da câmara não pode ser feita diretamente, pois a câmara é opaca. É necessário, pois, obtê-la indiretamente.

Considerando que todo o processo seja isotérmico, ao menos de maneira aproximada, o produto da pressão pelo volume do ar dentro da câmara deve permanecer constante, fornecendo a expressão

$$P_S V_S = P_0 V_0 \quad \text{Eq. 5}$$

onde P_S é a pressão medida para o volume (de ar) V_S correspondente. A grandeza V_0 é o volume intrínseco da câmara. O formato cilíndrico da mesma permite que a expressão seja escrita convenientemente da seguinte forma:

$$P_S h_S = P_0 h_0 \quad \text{Eq. 6}$$

A pressão no ponto Q é a soma da pressão medida pelo sensor, dada com relação ao ponto R , o que inclui a pressão atmosférica, mais a pressão provocada pela coluna d'água de altura Δh . Algebricamente:

$$P_Q = P_S + \rho g \Delta h$$

$$P_Q = P_S + \rho g (h_0 - h_S)$$

Substituindo h_S a partir da Eq. 6, obtém-se

$$P_Q = P_S + \rho g h_0 \left(1 - \frac{P_0}{P_S}\right) \quad \text{Eq. 7}$$

Para ser mais exato é necessário levar em consideração na Eq. 7 que a densidade da água varia com a temperatura (Eq. 4).

Os valores de T e P_S são fornecidos pelo sensor na câmara barométrica e g é a aceleração gravitacional no local, cujo valor adotado foi $9.780 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Nota-se que os termos envolvendo a temperatura fornecem valores relativamente pequenos, ao menos quando se considera o intervalo correspondente à amplitude térmica no local do laboratório. De fato, não é possível perceber diferenças significativas através de um gráfico, como os que são mostrados na Figura 7.

Nos gráficos, a linha preta contínua representa a função $y(x) = x$, para facilitar a análise do desvio. A linha vermelha tracejada representa a pressão calculada considerando-se a temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e $g = 9.780 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Outras temperaturas foram consideradas e não houve diferença perceptível, por isso os resultados não são exibidos no gráfico. O gráfico inferior mostra uma região do mesmo gráfico para uma análise melhor dos detalhes.



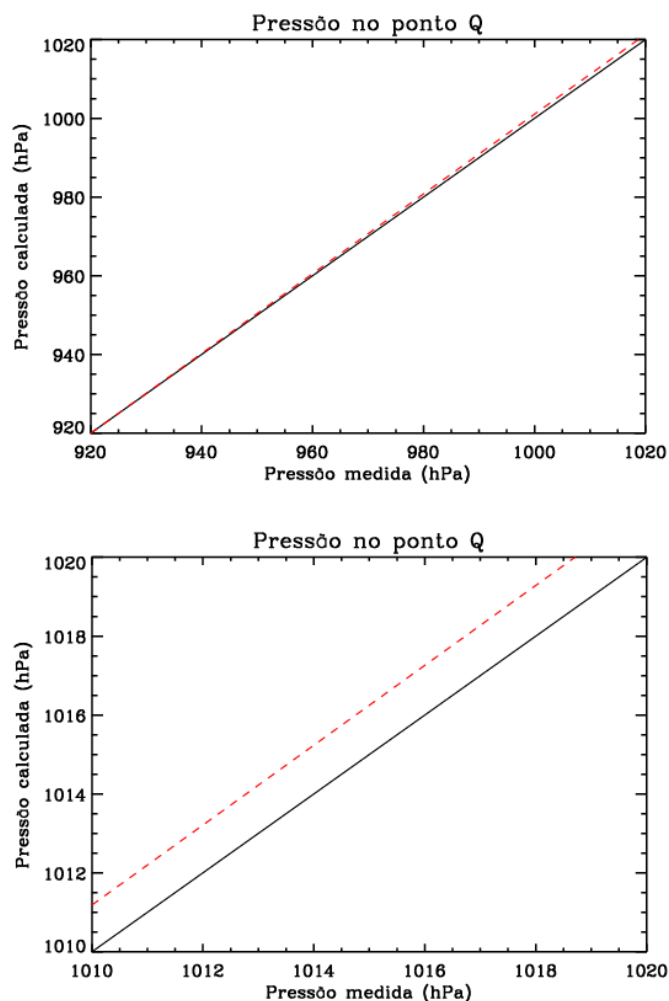


Figura 7. Gráficos da pressão calculada através da Eq. 8 em função da pressão fornecida pelo sensor BMP085.

A Figura 7 fornece uma ideia de como a pressão medida pelo sensor difere da pressão no ponto Q em função da altura da coluna d'água no tubo. Para valores próximos à pressão atmosférica no laboratório (e.g. 92240 Pa) (Stull, 2017), não há diferença alguma. Já o gráfico inferior mostra que há um desvio de aproximadamente 130 Pa quando a pressão se torna da ordem de 1020 hPa.

INTERFACE DO EXPERIMENTO "HIDROSTÁTICA"

O experimento pode ser observado e controlado em tempo real por meio de sua interface *on-line*. Trata-se de um recurso gratuito disponível 24 horas por dia, 7 dias por semana. Para acessá-lo não é necessário cadastro, apenas o nome e o e-mail, para fins



acadêmicos. Fica o leitor convidado a navegar pelo *website*⁷ do laboratório para conhecer os experimentos disponíveis, bem como o projeto de uma forma geral. Ao fazê-lo, poderá notar que existem algumas características comuns entre as interfaces do usuário. Entre os principais elementos que as compõem citam-se o painel de vídeo e o painel de controle. Aqui serão dispensados os comentários e explicações com respeito ao painel de vídeo, algo que é suficientemente autoexplicativo e sem especificidades. Considera-se o bastante que o leitor acesse um dos experimentos para compreender suas funcionalidades e características. O painel de controle, por outro lado, possui funções específicas para cada experimento e, por essa razão, alguns comentários são relevantes.

A Figura 8 mostra o painel de controle da interface *on-line* do experimento “Hidrostática”, que integra linguagens e técnicas de programação voltadas para *web*, como HTML, PHP, MySQL, Javascript, CSS, Ajax e Python; conforme foi mencionado anteriormente.

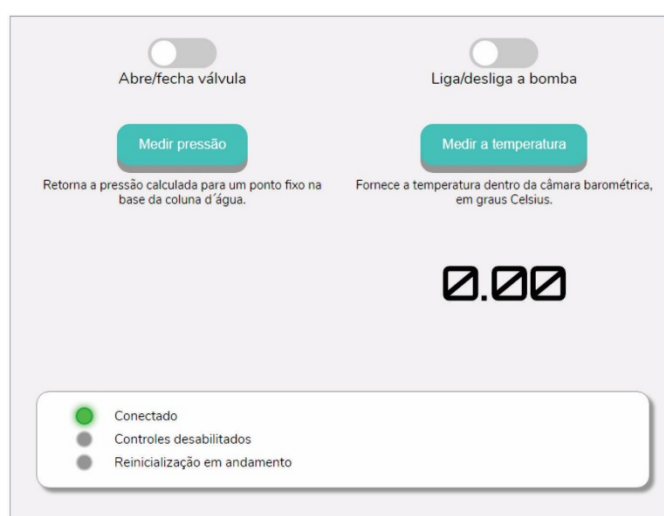


Figura 8. Painel de controle da interface do experimento “Hidrostática” disponível em <http://labremoto.unifei.edu.br>

Na parte superior há dois botões do tipo *switch*, como interruptores, um para abrir e fechar a válvula solenoide e outro para o acionamento da bomba hidráulica. É por meio destes dois controles que o usuário pode alterar o nível da água dentro do tubo. A válvula possui um temporizador que a fecha automaticamente um minuto após ter sido aberta, tempo médio necessário para esvaziar o tubo. Analogamente, a bomba possui um temporizador que a desliga automaticamente após 25 segundos de funcionamento, tempo médio para encher o tubo. Esses são mecanismos de proteção do experimento.

Na linha imediatamente abaixo há dois botões retangulares: *Medir pressão* e *Medir a temperatura*. O primeiro realiza cem medidas de pressão com o sensor BMP085 com um intervalo de 1 milissegundo entre cada uma. A média é obtida e a pressão final é calculada através da Eq. 8. Como mencionado anteriormente, essa pressão refere-se sempre ao mesmo ponto *Q* na base da coluna d’água. O segundo botão utiliza o mesmo sensor para determinar a temperatura no interior da câmara. Essa informação pode ser

7 Ver: <http://labremoto.unifei.edu.br>

útil dependendo da abordagem escolhida pelo professor. As informações numéricas e respectivas unidades são exibidas no próprio painel de controle, como pode ser visto na Figura 8.

Na parte inferior há um painel com sinais luminosos que são utilizados para transmitir alguma informação para o usuário de maneira clara e intuitiva, normalmente relacionada aos equipamentos utilizados no experimento. A título de exemplo, esses sinais luminosos são frequentemente empregados para informar quando um equipamento está ligado ou não. Trata-se de um elemento presente nos painéis de controle de todos os experimentos do laboratório.

7. O EXPERIMENTO “ACÚSTICA”

Nesta seção é suposto que o leitor esteja familiarizado com o fenômeno de propagação de ondas sonoras em um tubo, com o fenômeno de ressonância e com os conceitos básicos envolvidos no estudo da ondulatória, em especial o conceito de modos normais de vibração e as soluções para a equação de onda (Beranek, 1993; Coulson, 1977; Young, 2008).

Uma das principais abordagens possíveis para o experimento “Acústica” é aquela em que o estudante procura determinar a velocidade de propagação do som no ar. No experimento, o alto-falante acoplado na extremidade superior do tubo produz uma onda sonora com frequência de 500 Hz, valor escolhido levando-se em consideração principalmente dois fatores. Primeiro, a aproximação de que a frente de onda é plana. Conforme Beranek (1993), para que essa aproximação seja válida é necessário que a razão entre o comprimento de onda e o diâmetro do tubo no qual ela se propaga seja superior a um fator seis. Adotando o valor da velocidade de propagação do som no ar como $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, tem-se como resultado um comprimento de onda cerca de dezessete vezes maior que o diâmetro do tubo, satisfazendo, portanto, essa condição.

O segundo fator é o comprimento do tubo. Para frequências menores, logo comprimentos de onda maiores, existiriam poucos modos normais de vibração que poderiam ser detectados. Isso diminuiria a confiabilidade dos resultados da determinação do comprimento de onda e, por conseguinte, da determinação da velocidade de propagação do som no ar. Confira o gráfico mostrado na Figura 10. Quanto mais pontos houver, melhor a precisão dos coeficientes do ajuste.

Conforme a Figura 9, os modos normais de vibração ocorrem para determinadas alturas da coluna d’água. Em um tubo fechado, esses modos correspondem aos harmônicos de ordem ímpar (Young, 2008, p.156), os quais ocorrem para comprimentos múltiplos inteiros de meio comprimento de onda ($\lambda/2$). Na Figura 9 são mostrados os três primeiros modos normais de vibração do experimento.



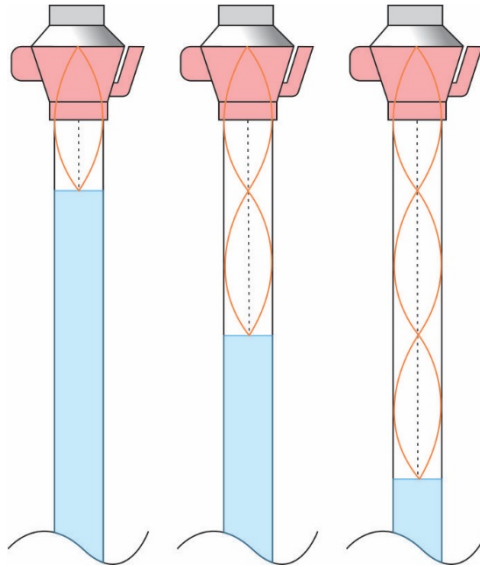


Figura 9. Três primeiros modos normais de vibração no experimento “Acústica”. A figura não está em escala.

A onda sonora produzida pelo alto-falante age como uma força propulsora oscilante sobre o sistema. Por construção, sua frequência é equivalente àquela dos modos normais de vibração e observa-se, como consequência, que o sistema entra em ressonância e a intensidade do som aumenta sempre que um modo normal de vibração ocorre. Um sensor de intensidade sonora KY038, devidamente calibrado e inserido no orifício B indicado na Figura 4, logo abaixo do alto-falante, é capaz de detectar essa variação e acusá-la na interface do usuário. Com auxílio da escala mostrada na Figura 5, a dimensão longitudinal do espaço em que a onda se propaga pode ser determinada e os dados são empregados na determinação da velocidade de propagação do som, como é mostrado na Figura 10.

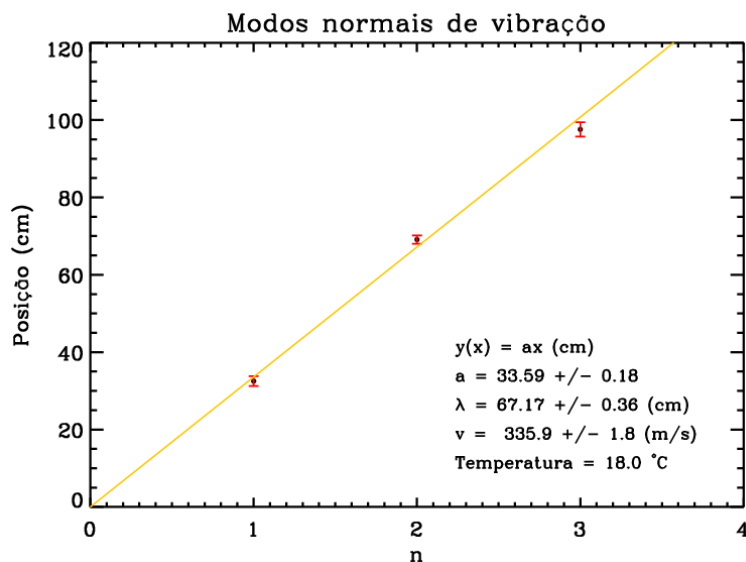


Figura 10. Posições medidas para os três primeiros modos normais de vibração utilizando uma onda sonora com frequência de 500 Hz.

Para a construção do gráfico foram realizadas diversas medidas das posições dos modos normais de vibração. É importante que se faça uma análise do conjunto de dados buscando identificar valores com erros grosseiros pois, como se trata de um experimento real e não de uma simulação, esses erros podem ocorrer, assim como em qualquer experimento. Na verdade, todo o cuidado que se tem com um experimento no laboratório com relação às fontes de erros deve-se ter nesse caso. Após analisar a amostra em questão e eliminar valores discrepantes usando a variância do conjunto como critério, restaram 15 medidas. As médias são mostradas no gráfico da Figura 10 e as barras de erros adotadas correspondem a três vezes o valor do desvio padrão de cada amostra pós-análise.

O ajuste mostrado é baseado no qui-quadrado (Larson & Farber, 2004; Press et al., 2007; Walpole et al., 2009) e foi considerada uma função linear passando obrigatoriamente pela origem. Segundo a relação

$$L = \frac{\lambda}{2}n \quad \text{Eq. 9}$$

o coeficiente angular do ajuste corresponde a meio comprimento de onda. A velocidade do som é obtida multiplicando-se λ pela frequência da fonte. O resultado é

$$v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) = 335.9 \pm 1.8 \quad \text{Eq. 10}$$

O resultado é próximo dos valores apresentados na literatura (Beranek, 1993; Everest, 2001; Nussenzveig, 2002; Young, 2008). Durante a realização da coleta de dados, a temperatura no laboratório era de 18.0 °C, medida pelo sensor na câmara barométrica, e não houve variação significativa entre o início e o término do procedimento. A partir dos dados disponíveis na literatura, infere-se que a velocidade do som no ar é da ordem de 342 m · s⁻¹ para essa temperatura. O desvio relativo entre o resultado apresentado e esse valor é de 1.8% apenas, considerado satisfatório de acordo com os objetivos do experimento.

INTERFACE DO EXPERIMENTO “ACÚSTICA”

O painel de controle do experimento será tratado nesta seção. Assim como no caso do experimento “Hidrostática”, os comentários sobre os demais elementos da interface são considerados prescindíveis.



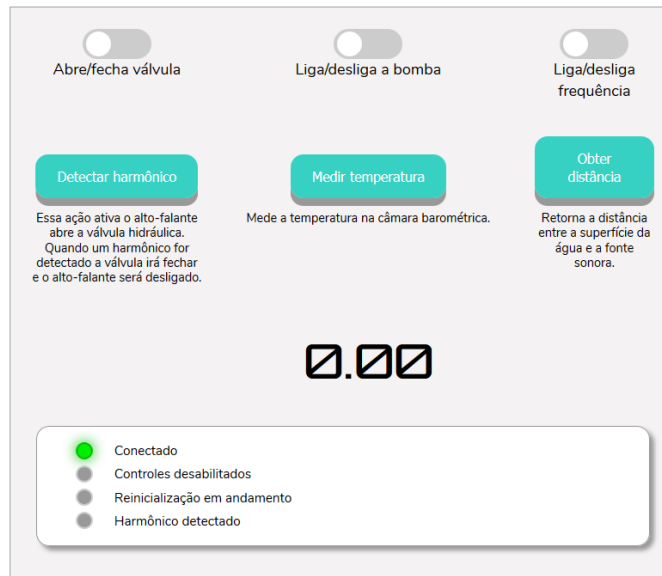


Figura 11. Painel de controle da interface do experimento “Acústica”.

Na parte superior do painel mostrado na Figura 11 encontram-se três *switches*, alguns deles com funções idênticas àquelas que foram apresentadas no caso do experimento “Hidrostática”. O *switch* à esquerda abre ou fecha a válvula solenoide e o do centro liga ou desliga a bomba hidráulica. Esses dois controles permitem regular a entrada ou saída de água dentro do tubo. Os temporizadores empregados no experimento “Hidrostática” também se aplicam aqui para proteção do experimento. O *switch* à direita liga ou desliga o alto-falante. Infelizmente o som não é transmitido ao usuário visando tornar o tráfego de dados pela rede mais econômico. Espera-se, com isso, otimizar as demais funções, como a transmissão do vídeo com qualidade e com baixa latência. Sinais luminosos são empregados para manter o usuário à par do que acontece no laboratório, na medida do possível.

Abaixo desses controles, na região intermediária do painel, há três botões retangulares. O botão *Detectar harmônico*, à esquerda, é o principal controle desse experimento. Ao pressioná-lo, algumas ações são executadas simultaneamente: i) o alto-falante é ligado e o respectivo *switch* muda de posição para indicar a ação que acaba de ocorrer; ii) a válvula solenoide é aberta e o nível da água começa a diminuir e iii) o sensor de intensidade sonora inicia o procedimento de detecção dos modos normais de vibração. Quando o nível da água atinge o ponto em que há a ocorrência de um harmônico, o sensor de intensidade sonora realiza a detecção e o programa ordena o fechamento da válvula solenoide e também desliga o alto-falante. O usuário pode, então, realizar a medida da posição do nível da água. Pressionando novamente o botão, o procedimento é repetido a partir do último harmônico. Obviamente que o tubo precisa estar cheio para a detecção dos três modos normais de vibração e, caso o nível da água esteja muito baixo, o botão *Detectar harmônico* não terá efeito algum.

O botão *Medir temperatura* fornece a temperatura na câmara barométrica. De forma aproximada, pode-se considerar que todo o sistema está em equilíbrio térmico, visto que as variações de temperatura ambiente ocorrem de forma lenta. Também não há nenhuma fonte significativa de calor próxima ao experimento. O último botão, *Obter distância*, fornece uma estimativa da distância entre a fonte sonora e a superfície da água. O cálculo é baseado na pressão medida pelo sensor BMP085 e trata-se de um

recurso opcional, nem sempre disponível no painel. Como dito anteriormente, a ideia é que o usuário realize as medidas de posição diretamente na escala do experimento por questões pedagógicas. Os demais elementos não são nenhuma novidade: um mostrador digital para exibir os resultados numéricos e um painel com sinais luminosos, cujas funções são as mesmas apresentadas para o caso do experimento “Hidrostática”.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal foco deste trabalho foi apresentar e descrever dois experimentos que podem ser realizados a partir de um mesmo conjunto experimental construído para o Laboratório Remoto de Física⁸ da Universidade Federal de Itajubá. Enfatiza-se uma vez mais que todos os experimentos desse laboratório podem ser controlados remotamente através da Internet e observados em tempo real, de diversos ângulos em alguns casos. Seja em um computador ou em um dispositivo portátil⁹, qualquer pessoa com conexão à Internet, em qualquer instante, em qualquer local do planeta, pode realizar o acesso e utilizar os experimentos!

Existem inúmeras possibilidades para a utilização de um experimento conforme a concepção pedagógica e a abordagem didática. Para os experimentos descritos neste trabalho, bem como para as montagens disponíveis no laboratório remoto, de forma geral, o nível de dificuldade da proposta pode variar desde simples verificações até atividades investigativas elaboradas, para o público da educação básica ou do ensino superior, ou mesmo para o público não escolar. Fica à cargo do professor a construção de um planejamento que lhe pareça mais apropriado de acordo com o seu contexto e seus objetivos.

Os aspectos físico-teóricos e metodológicos tratados neste trabalho não têm a pretensão de apontar nenhuma abordagem em específico. O principal motivo pelo qual tais aspectos foram apresentados foi dar ao leitor informações suficientes a respeito dos experimentos, dos cuidados tomados em sua construção e dos procedimentos seguidos com relação aos instrumentos de coleta de dados, buscando demonstrar como é possível obter bons resultados e também dar uma ideia do quão ricas podem ser as discussões teóricas em torno de uma atividade prática com o aparato descrito neste trabalho. Evidentemente que propostas de atividades envolvendo esses experimentos e aplicações dessas atividades em diferentes contextos escolares serão encaminhadas em trabalhos posteriores.

Independentemente de como as propostas sejam elaboradas é preciso sempre estar atento a alguns princípios, nomeadamente o fato de que as atividades experimentais podem auxiliar na compreensão dos processos da ciência e constituem uma via para que os seguintes aspectos estejam presentes no ensino: a aprendizagem sobre ciências, aprendizagem sobre a natureza da ciência, sobre os seus métodos. Nesse sentido deve-se recomendar que o ensaio experimental que foi apresentado aqui não constitua um

⁸ Ver: <http://labremoto.unifei.edu.br>

⁹ Ver: Nota-se que o sistema apresenta boa performance mesmo em dispositivos móveis, contudo, uma boa conexão com a Internet é recomendável. Nos casos de conexões 3G, os resultados podem variar dependendo da operadora de telefonia. Recomenda-se a utilização de conexão 4G.



guia para o professor, mas sim que o mesmo seja uma construção dos próprios estudantes no bojo de um processo investigativo devidamente contextualizado e mediado pelo docente.

Nota-se que a montagem experimental descrita neste trabalho não impõe ou sequer sugere uma sequência de procedimentos a ser seguida. Essa característica vai ao encontro dos pressupostos educacionais do laboratório, pois torna propício que o docente desenvolva um trabalho onde se promova a autonomia dos estudantes na medida em que estes buscam conceber e planejar os procedimentos experimentais com vistas à coleta de dados. Um outro aspecto presente nos experimentos que merece ser destacado uma vez mais é o fato de que as medidas são fornecidas através de instrumentos reais que devem ser lidos pelos estudantes. Isso contribui para que aumentem seu conhecimento sobre os equipamentos, conheçam e aperfeiçoem a técnica envolvida na leitura e na coleta de dados e desenvolvam uma noção sobre o tratamento de erros envolvidos em qualquer processo de medida.

Para aqueles que julgarem interessante, há espaço para o compartilhamento de propostas de atividades práticas envolvendo os experimentos do laboratório remoto através do seu *website*, onde é possível obter mais informações sobre o assunto e sobre como proceder. Ressalta-se que essas propostas não precisam estar baseadas exclusivamente nos experimentos do laboratório (mas devem incluí-los). Pelo contrário, consonante aos pressupostos pedagógicos que alicerçam o seu desenvolvimento, preconiza-se a utilização do acervo articulada às mais diversas tecnologias educacionais disponíveis, explorando-se todo um universo de estratégias didáticas e a pluralidade metodológica.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, E., AVILA, B. G., & TAROUCO, L. M. R. (2012). Aspectos teóricos e práticos da implantação de um laboratório virtual no OpenSim. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*.
- ANDRADE, M. L. F., & MASSABNI, V. G. (2011). O desenvolvimento de atividades práticas na escola: um desafio para os professores de ciências. *Ciência & Educação*, 17(4), 835-854.
- ARAÚJO, M. S. T., & ABIB, M. L. V. S. (2003). Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(2), 176-194.
- ARRUDA, S. M., & LABURÚ, C. E. (1998). Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências. In R. NARDI (Org.), *Questões atuais no ensino de ciências* (pp. 53-69). São Paulo: Escrituras.
- AUER, M. E., AZAD, A. K., EDWARDS, A., & JONG, T. (2018). *Cyber-Physical Laboratories in Engineering and Science Education*. New York: Springer.
- AZEVEDO, H. L. et al. (2009). O uso do experimento no ensino da física: tendências a partir do levantamento dos artigos em periódicos da área no Brasil. In *VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Florianópolis.



- BARBERÁ O., & VALDÉS, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 14(3), 365-379.
- BENDER, A. L., SBARDELOTTO, D. R., & MAGNO, W. C. (2004). Using DC motors in Physics experiments. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 26(4), 401-405.
- BERANEK, L. L. (1993). *Acoustics*, American Institute of Physics Inc. New York: Acoustical Society of America.
- BINSFELD, S. C., & AUTH, M. A. (2011). A experimentação no ensino de ciências da educação básica: constatações e desafios. In *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, 8, 1-10.
- BORGES, A. T. (2002). Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(3), 291-313.
- BROOKS, J., & BROOKS, M. (1999). *In Search of Understanding – The Case for Constructivist Classrooms* (revised edition). Virginia: Association for Supervision and Curriculum Development.
- CANU, M., & DUQUE, M. (2015). Laboratorios remotos ¿ qué interés pedagógico?. In *Encuentro internacional de educación en ingeniería ACOFI*.
- COULSON, C. A. (1977). *Waves: a mathematical approach to the common types of wave motion*. (2nd Edition). New York: Longman.
- DELIZOICOV, D., & ANGOTTI, J. A. (1994). *Metodologia no ensino de ciências*. (2ª edição). São Paulo: Cortez.
- DIAS, N. L., PINHEIRO, A. G., & BARROSO, G. C. (2002). Laboratório virtual de Física nuclear. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24(2), 232-236.
- DUARTE, S. E. (2012). Física para o Ensino Médio usando simulações e experimentos de baixo custo: um exemplo abordando dinâmica da rotação. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29, 525-542.
- EVEREST, F. (2001). *The Master Handbook of Acoustics*. New York: McGraw-Hill.
- FERREIRA, N. C. (1985). *As diferentes formas de atuação no laboratório*. (Tese de Doutorado). Instituto de Física, Universidade de São Paulo, Brasil.
- FIDALGO, A. V., ALVES, G. R., MARQUES, M. A., VIEGAS, M. C., COSTA-LOBO, M. C., HERNANDEZ, U., GARCIA-ZÚBIA, J., & GUSTAVSSON, I. (2013). Adaptação de Laboratórios Remotos a Cenários de Ensino: Casos de Estudo com VISIR e RemotElectLab. *VAEP-RITA*, 1(2), 135-141.
- FONSECA, M. et al. (2013). O laboratório virtual: Uma atividade baseada em experimentos para o ensino de mecânica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(4), 1-10.
- GIORDAN, M. (1999). O papel da experimentação no ensino de ciências. *Química nova na escola*, 10(10), 43-49.



- GOLC (2012). GOLC – global online laboratory consortium website. Retirado de: <http://www.online-lab.org/>
- HARPER, B., & HEDBERG, J. (1997). Creating Motivating Interactive Learning Environments: a Constructivism View. In *Proceedings of Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education*.
- HODSON, D. (1996). Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion. *Journal of Curriculum Studies*, 28(2), 115-135.
- JESUS, V. L. B., & SASAKI, D. G. G. (2014). Vídeo-análise de um experimento de baixo custo sobre atrito cinético e atrito de rolamento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(3), 3503.
- KANBACH, B. G., LABURÚ, C. E., & SILVA, O. H. M. (2005). Razões para a não utilização de atividades práticas por professores de física no ensino médio. In *Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 16.
- LABURÚ, C. E., BARROS, M. A., & KANBACH, B. G. (2007). A relação com o saber profissional do professor de Física e o fracasso na implementação de atividades experimentais no Ensino Médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, 12(3).
- LARSON, R., & FARBER, B. (2004). *Estatística Aplicada*. (2ª Edição). São Paulo: Prentice Hall.
- LEAL, S. C., FERNANDES, H., & LEAL, J. P. (2009). Laboratório virtual e-lab: uma plataforma de ensino das ciências. *Proceedings of the XIII Encontro Nacional de Educação em Ciências*, 24-26.
- LIDE, D. R. (1991). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 71. Boston: CRC Press.
- LOPES, S. P. M. L. (2007). *Laboratório de acesso remoto em Física*. (Dissertação de Mestrado em Ensino da Física e da Química). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal.
- MACÊDO, J. A., DICKMAN, A. G., & ANDRADE, I. S. F. (2012). Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de eletricidade. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29, 562-613.
- MEDEIROS, A., & BEZERRA FILHO, S. (2000). A natureza da ciência e a instrumentação para o ensino da física. *Ciência & Educação*, 6(2), 107-117.
- MEDEIROS, A., & MEDEIROS, C. F. (2002). Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24(2), 77-86.
- MINTZES, J., WANDERSEE, J., & NOVAK, J. (2000). *Ensinando Ciência para a compreensão*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- MORAES, R. (1993). Algumas considerações sobre o Ensino de Ciências numa perspectiva Construtivista. *Revista do Ensino*, 27(4), 13-17.
- MOREIRA, M. A., & AXT, R. (Orgs.) (1991). *Tópicos em Ensino de Ciências*. Porto Alegre: Sagra.
- MOREIRA, M. A., & LEVANDOWSKI, C. E. (1983). *Diferentes abordagens ao ensino de laboratório*. Porto Alegre: Ed. da Universidade, UFRGS.



- NOVAK, J., & GOWIN, D. B. (1999). *Aprender a aprender*. (2ª Edição). Lisboa: Plátano, Edições Técnicas.
- NUSSENZVEIG, H. M. (2002). *Física Básica 2. Fluidos, oscilações e ondas, calor*. (4ª Edição). São Paulo: Edgar Blucher.
- OLIVEIRA, C. R. S., LIMA PEREIRA, A., OLIVEIRA, I. N., & SANTOS, H. L. (2009). Um Ambiente para a Prática Remota de Aulas Laboratoriais de Física (determinação da viscosidade de líquidos). *Brazilian Journal of Computers in Education*, 17(1), 43.
- ORDUÑA, P. et al. (2018). The WebLab-Deusto Remote Laboratory Management System Architecture: Achieving Scalability, Interoperability, and Federation of Remote Experimentation. In M. AUER, A. AZAD, A. EDWARDS & T. DE JONG (Eds.), *Cyber-Physical Laboratories in Engineering and Science Education* (pp. 17-42). Cham: Springer.
- OSTERMANN, F., & RICCI, T. F. (2005). Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 22(1), 9-35.
- PENA, F. L. A., & RIBEIRO FILHO, A. (2009). Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de Física: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras publicados em periódicos nacionais da área (1971-2006). *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 9(1), 1-13.
- PINHO ALVES, J. (2000). Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. *Caderno brasileiro de ensino de Física*, 17(2), 174-188.
- PRESS, W. H. et al. (2007). *Numerical Recipes: The art of scientific computing*. (3rd Edition). Cambridge, Cambridge University Press.
- RAMOS, L. B. C., & ROSA, P. R. S. (2008). O ensino de ciências: fatores intrínsecos e extrínsecos que limitam a realização de atividades experimentais pelo professor dos anos iniciais do ensino fundamental. *Investigações em Ensino de Ciências*, 13(3), 299-331.
- ROSITO, B. A. (2003). O ensino de ciências e a experimentação. In R. MORAES (Org.), *Construtivismo e ensino de ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas* (pp. 195-208). Porto Alegre: EDIPUCRS.
- SANDOVAL, J. S., & CUDMANI, L. C. (1992). Los laboratorios de Física de ciclos básicos universitarios instrumentados como procesos colectivos de investigación dirigida. *Revista de Enseñanza de la Física*, 5(2), 10-17.
- SANTOS, E. I., PIASSI, L. P. C., & FERREIRA, N. C. (2004). Atividades experimentais de baixo custo como estratégia de construção da autonomia de professores de Física: uma experiência em formação continuada. In IX *Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física*, Jaboticatubas.
- SERÉ, M., COELHO, S. M., & NUNES, A. D. (2003). O papel da experimentação no ensino da física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20(1), 30-42.



- SILVA, J. B., ROCHADEL, W., SIMÃO, J. P., & SILVA FIDALGO, A. V. (2013). Uso de dispositivos móveis para acesso a Experimentos Remotos na Educação Básica. *VAEP-RITA*, 1(2), 129-134.
- SILVA, L. F., & ASSIS, A. (2012). Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29(2), 313-324.
- SILVA, N. C. (2012). Laboratório virtual de física moderna: atenuação da radiação pela matéria. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29(3), 1206-1231.
- SOUZA, A. R., PAIXÃO, A. C., UZÊDA, D. D., DIAS, M. A., DUARTE, S., & AMORIM, H. S. (2011). The Arduino board: a low cost option for physics experiments assisted by PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(1), 1-5.
- STULL, R. (2017). *Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science*. Vancouver, Canadá, University of British Columbia.
- VILLANI, C. E. P. (2003). O papel das atividades experimentais na educação em ciências: Análise da ontogênese dos dados empíricos nas práticas discursivas no laboratório didático de física do ensino superior. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 5(2), 1-197.
- WALPOLE, R. E. et al. (2009). *Probabilidade e Estatística para engenharia & ciências*. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- YOUNG, H. D. (2008). *Física II: Termodinâmica e Ondas/Young e Freedman*. (12ª Edição). São Paulo: Addison Wesley.
- ZANCUL, M. C. S., (2008). O ensino de ciências e a experimentação: algumas reflexões. In A. C. PAVÃO & D. FREITAS (Orgs.), *Quanta Ciência há no Ensino de Ciências* (p. 63). São Carlos-SP: Edufscar.
- ZANON, L. B., & UHMANN, R. I. M. (2013). O desafio de inserir a experimentação no ensino de ciências e entender a sua função pedagógica. In *XVI ENEQ/X EDUQUI* (ISSN: 2179-5355).
- ZUTIN D.G. (2018). Online Laboratory Architectures and Technical Considerations. In M. AUER, A. AZAD, A. EDWARDS & T. DE JONG (Eds.), *Cyber-Physical Laboratories in Engineering and Science Education* (pp. 5-16). Cham: Springer.

*

Received: March 25, 2019

Revised version: May 17, 2019

Accepted: May 20, 2019

Published online: June 29, 2019

