



ARDUINO PARA CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO: EXPERIÊNCIA NO LABORATÓRIO DIDÁTICO DO ITA

Priscila Freitas-Lemes – piprisc@gmail.com
Pedro J. Pompeia – pompeia@ita.br
Pedro V. J. Andrade – pvja18@gmail.com
Edson H. A. Sales – hitalosales19@gmail.com
Breno O. Silva – breno_ys@hotmail.com
José S. E. Germano – silverio@ita.br
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Pça Mal. Eduardo Gomes, 50
CEP 12.228-900 – São José dos Campos – SP.

Resumo: Neste trabalho apresenta-se o resultado de uma atividade conduzida no laboratório do Curso Fundamental de Engenharia do Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, em que os alunos conceberam e montaram um sistema de medição para a obtenção do período de oscilação de um pêndulo simples. Este sistema foi construído com uma plataforma Arduino, um foto resistor e um diodo emissor de luz. Os resultados obtidos ainda foram comparados com valores teóricos e com medições obtidas por vídeo análise. Os resultados obtidos pelos estudantes são apresentados e discute-se alguns aspectos da proposta.

Palavras-chave: Arduino, Sistema de medição, Laboratório didático, Pêndulo simples.

1. INTRODUÇÃO

O uso de novas metodologias no ensino de ciências exatas em nível superior tem sido uma tendência em diversas universidades de reconhecida competência. Diversos são os objetivos do uso destas ferramentas (BORGES & ALENCAR, 2014), sendo cada um adequado para um tipo atividade de ensino (BARBOSA & de MOURA, 2013, p. 49). Por exemplo, o uso de software de simulação, como Mathematica® (WOLFRAM, 2003), Maxima®, Matlab®, etc., permitem ao aluno visualizar um fenômeno físico e compreender o que as soluções das equações estudadas, assim como os gráficos construídos a partir das mesmas, de fato representam. Um outro exemplo de novas ferramentas, de particular interesse no estudo de Mecânica, é o da vídeo análise com software como o Tracker (BROWN, 2009; BROWN & COX, 2009 e BROWN, 2012), o qual permite a análise de movimento a partir de uma filmagem de um dado fenômeno físico (BEZERRA JR et al, 2012, p.469). Por fim, outra ferramenta que tem sido bastante utilizada, em particular no desenvolvimento de projetos de engenharia em cursos de graduação (HAUGEN & MOORE Summer 2014 AAPT meeting) (CALIN et al, 2014, p.157), é a plataforma *Arduino* <http://www.arduino.cc/>, que permite a construção de protótipos a um custo relativamente baixo.

Um ambiente em que várias destas ferramentas encontram consonância e podem ser utilizados conjuntamente, enriquecendo o aprendizado do aluno, é o ambiente do laboratório didático de Física. Tradicionalmente, os experimentos dos laboratórios didáticos são apresentados aos alunos de uma forma em que estes devem seguir um roteiro predeterminado para a medição do fenômeno em estudo. Na maioria das vezes, os desafios advindos da montagem e execução da medição já foram destrinchados anteriormente pela equipe de



professores e técnicos, de modo que o aluno consegue, com relativa facilidade, realizar os experimentos sem se dar conta das dificuldades que existem na concepção e montagem de um sistema de medição. Muitas vezes, também, o aluno acaba por ter pouco envolvimento com o experimento em si, priorizando o cumprimento da meta estabelecida pelo roteiro em detrimento ao entendimento do fenômeno em estudo.

Com o intuito de avaliar como os alunos reagiriam a um contexto diferente do descrito acima, o corpo docente do Laboratório de Física do curso básico de engenharias do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) fez uma proposta inédita, até onde é de conhecimento dos autores, em que os alunos deveriam conceber e montar um sistema de medição para, só então, realizar o estudo do fenômeno físico escolhido. Para isso, o uso das novas metodologias mencionadas anteriormente mostrou-se essencial.

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados obtidos pelos alunos do ITA no estudo de um pêndulo simples, em que os estudantes mediram o período de oscilação de um pêndulo em pequenas e grandes oscilações, utilizando um sistema de medição montado com dispositivos eletrônicos e uma placa *Arduino*. Para validar os resultados obtidos com este sistema, os alunos compararam os resultados com a medição obtida por outro método experimental, a vídeo análise, e também compararam com resultados obtidos por simulação em software de computação algébrica. Para atingir o objetivo proposto, na próxima seção são descritos como o sistema de aquisição de dados foi concebido e montado por um grupo de alunos. Posteriormente, são mostrados os resultados obtidos e a análise de dados conduzida e, por fim, as conclusões.

2. ATIVIDADE PROPOSTA AOS ALUNOS

A atividade proposta aos alunos do 2º ano do Curso Fundamental do ITA consistiu no estudo do período de oscilação de um pêndulo simples em regime de pequenas e grandes oscilações. Os estudantes deveriam fazer as medições dos períodos por dois métodos experimentais distintos e comparar os resultados entre si e com aqueles obtidos por simulação feita no software Wolfram Mathematica®.

No primeiro método de medição, o aluno deveria construir um sistema de medição usando a plataforma *Arduino*, a qual consiste, essencialmente, em uma placa eletrônica com um microprocessador programável. Esta placa ainda possui pinos para entrada e saída de tensão elétrica, permitindo ao usuário realizar múltiplas tarefas de forma simultânea, de acordo com a programação feita no IDE <http://arduino.cc/en/main/software> (*integrated development environment*, em inglês). A programação, baseada em linguagem C, C++ <http://playground.arduino.cc/Main/InterfacingWithSoftware>, é então carregada na placa *Arduino*, permitindo que os sistemas acoplados à mesma executem as tarefas programadas.

Na atividade proposta, o estudante utilizou uma placa *Arduino UNO* em conjunto com um fototransistor LDR (light-dependent resistor, em inglês) e um diodo emissor de luz LED (light-emitting diode, em inglês). Como parte da proposta, a montagem não foi sugerida aos alunos, os quais elaboraram a concepção do sistema, montaram-no, testaram-no e por fim realizaram as medições. Para validar as medições feitas com este sistema, os alunos compararam os seus resultados com aqueles obtidos por um outro método experimental (descrito a seguir) e com valores esperados teoricamente.

O segundo método de medição consistiu na filmagem da oscilação e posterior análise com o software Tracker. Este é um programa que permite o levantamento das funções horárias de posição, velocidade e aceleração de uma dada trajetória (tanto em escala linear,



como em escala angular) a partir da definição de um padrão de imagem definido. Neste software, o usuário também deve fixar os eixos de referência e uma escala de medição. Com estas informações, o Tracker é capaz de fazer um rastreamento automático da imagem de referência, construindo tabelas e gráficos da posição, velocidade e aceleração, simplificando sobremaneira o trabalho do aluno na aquisição de dados. A partir das informações levantadas pelo Tracker, o aluno obteve os períodos de oscilação para pequenos e grandes ângulos, por exemplo, pelo levantamento dos intervalos de tempo em que o pêndulo atinge máximos ou mínimos consecutivos da trajetória. Os resultados obtidos e analisados pelos alunos são apresentados na próxima seção.

3. RESULTADOS OBTIDOS PELOS ALUNOS

3.1. Simulações com software Mathematica®

Para auxiliar os estudantes, um arquivo foi montado no software Wolfram Mathematica® e disponibilizado para que os mesmos pudessem simular as soluções para pequenas e grandes oscilações do pêndulo.

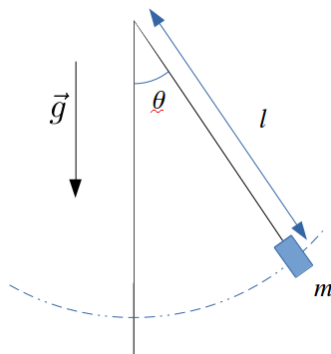


Figura 1 – Diagrama esquemático do pêndulo oscilando em um plano.

Considerando θ como sendo o ângulo formado entre o fio de comprimento l , que suspende o corpo pendular de massa m , e a vertical (definida pela direção da aceleração da gravidade, de módulo g) - vide “Figura 1”, a equação de movimento desprezando forças dissipativas é dada por:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l} \sin \theta = 0 \quad (1)$$

Para pequenas oscilações, a aproximação $\sin \theta \sim \theta$ é válida e a equação acima simplifica-se :

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l} \theta = 0 \quad (2)$$

e torna-se a equação de um movimento harmônico simples, cujo período T pode ser obtido analiticamente como sendo:

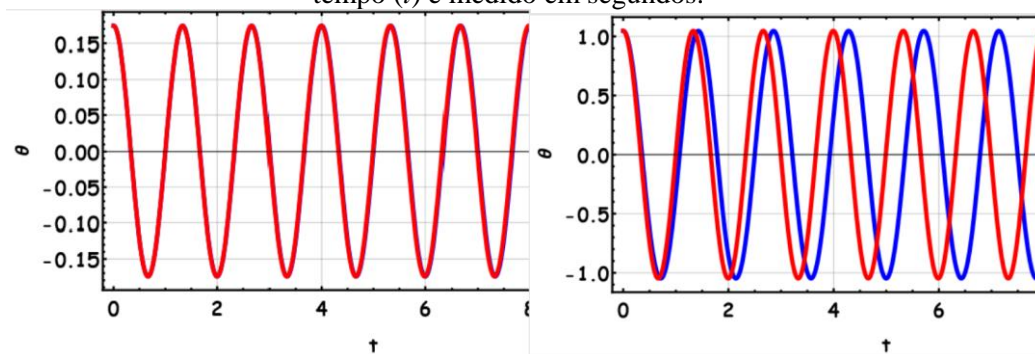
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3)$$



O arquivo montado no Mathematica® permitiu aos alunos obter as soluções das equações “Equação (1)” e “Equação (2)”, a primeira obtida por solução numérica, e a segunda obtida por solução exata. Para tanto, os parâmetros do problema (l , g), bem como as condições iniciais (ângulo θ_0 e velocidade $\dot{\theta}_0$) da oscilação a ser analisada deveriam ser fixados no arquivo. As soluções exata e aproximada também podiam ser apresentadas em forma gráfica, de forma que a comparação entre as duas ficasse manifesta, evidenciando para quais ângulos a equação aproximada ainda poderia ser considerada válida.

Os ângulos escolhidos para experimentação pelos estudantes foram de 10° e 60° , ângulos dos quais o pêndulo era abandonado, com velocidade inicial nula, para oscilar livremente. O valor de l foi medido com o auxílio de uma escala graduada milimetrada, fornecendo o valor de $(0,4400 \pm 0,0005)$ m, enquanto a aceleração da gravidade foi tomada como tendo módulo $9,810 \text{ m/s}^2$. A “Figura 2” mostra a superposição das soluções exata e numérica obtidas para os ângulos iniciais e parâmetros escolhidos pelos estudantes.

Figura 2 – Soluções exata – curva em azul – e aproximada – curva em vermelho – para condições iniciais $\theta_0 = \pi/18$ ou 10° (esquerda) e $\theta_0 = \pi/3$ ou 60° (direita) feitas no *software Mathematica*. O tempo (t) é medido em segundos.



Como verifica-se na “Figura 2”, para $\theta_0 = 10^\circ$ (à esquerda), as duas soluções aparecem sobrepostas, não permitindo identificar-se qualquer diferença entre as soluções exata e aproximada. Para este ângulo, a aproximação da “Equação (2)” pode ser considerada válida. Para o ângulo de 60° (à direita), é explícita a defasagem entre as duas soluções, mostrando que a aproximação perde a validade.

Para obter o período para oscilação com o ângulo de 10° , foi utilizada a “Equação (3)”, fornecendo $T = (1,331 \pm 0,001)$ s, onde a incerteza foi avaliada por lei de propagação de incertezas (VUOLO, 2014).

Já para a oscilação iniciando em 60° , o período foi avaliado por uma média dos intervalos de tempo transcorrido entre valores nulos alternados da solução numérica da “Equação (1)”. O período obtido neste caso foi de $T = (1,42 \pm 0,01)$ s, sendo a incerteza avaliada pelo desvio padrão dos valores obtidos. De forma resumida:

Tabela 1 -Valores médios e incertezas padrão dos períodos de oscilação do pêndulo obtidos com o *software Mathematica*, para ângulos iniciais de 10° e 60° .

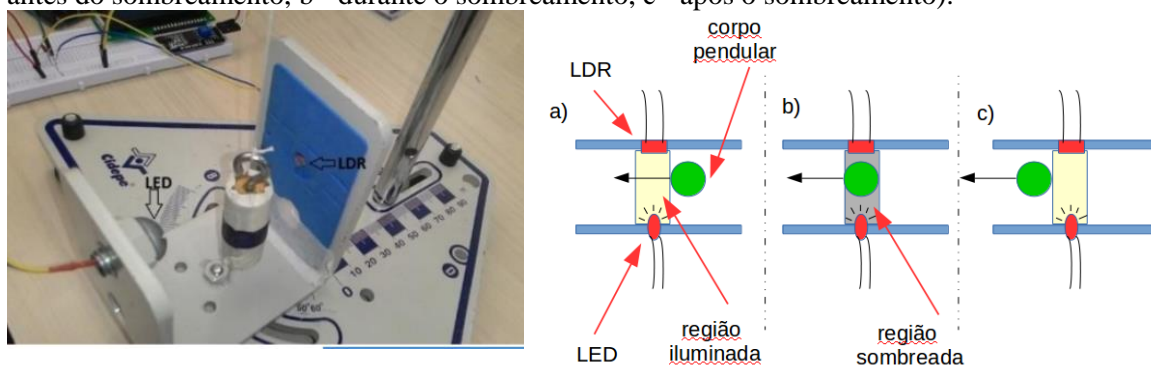
	10°	60°
Média (s)	1,331	1,42
Incerteza padrão (s)	0,001	0,01



3.2. Montagem do sistema Arduino/LED/LDR

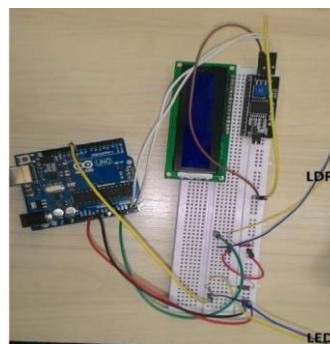
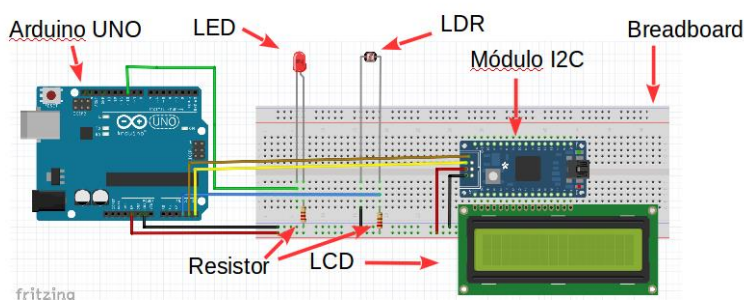
Com o *LDR*, um *LED* e a placa *Arduino UNO*, os estudantes propuseram uma montagem em que o *LED* iluminava diretamente o *LDR*. Ambos estavam apoiados em um suporte que permitia ao objeto ou pendular passar entre os dois dispositivos, fazendo com que a iluminação no *LDR* diminuísse durante alguns instantes (veja “Figura 3”). Ao realizar leituras no *LDR*, assim que fosse constatada a diminuição da intensidade luminosa (manifestada por um aumento da tensão na leitura do *LDR*), o sistema realizou a leitura do instante de tempo t desta ocorrência (por exemplo, utilizando a função *micros()* do *Arduino*). Em uma primeira passagem em frente ao sensor, o pêndulo move-se com direção e sentido definidos pelas condições iniciais; na segunda passagem, a velocidade possui sentido oposto ao da leitura anterior; somente na terceira passagem pela frente do sensor é que o pêndulo completa um ciclo de oscilação. Isto posto, pelos intervalos de tempo obtidos a partir das diferenças de leituras de t alternadas (leituras ímpares ou pares) o grupo de estudante conseguiu avaliar o valor do período de oscilação.

Figura 3 – Suporte de montagem para instalação do *LDR* e do *LED* (esquerda) e princípio de funcionamento do sistema de medição (direita), com vista superior do corpo pendular passando em frente ao conjunto *LED/LDR*, gerando o sombreamento sentido pelo *LDR* (na sequência: a - instantes antes do sombreamento, b - durante o sombreamento, c - após o sombreamento).



A “Figura 4” ilustra a montagem do circuito feita em uma placa de prototipagem (*breadboard*) e com a placa *Arduino*. O *LED*, ligado em série a um resistor, é conectado ao pino digital 10 do *Arduino UNO*, permanecendo ligado a todo instante. O *LDR* é ligado em série a um outro resistor, constituindo um divisor de tensão. A queda de tensão entre um dos terminais do *LDR* e o terra do sistema é lida na porta analógica A3 do *Arduino*. Pode-se notar ainda a presença de um *display* de cristal líquido, *LCD* (*liquid crystal display*, em inglês), conectado a um módulo *I2C* (*inter-integrated circuit*, em inglês). Neste *LCD*, o valor de período foi apresentado a cada leitura realizada pelo sistema.

Figura 4 – Ilustração esquemática do circuito eletrônico (esquerda), elaborada com o *software Fritzing* (<http://fritzing.org/>) e circuito montado pelos alunos (direita).



Com o circuito montado, a programação foi feita no *IDE* (veja anexo), sendo então carregada no micro controlador com o auxílio de um cabo conectado ao computador. Este mesmo cabo também foi utilizado para realizar a alimentação elétrica do sistema, bem como realizar a comunicação entre a placa *Arduino* e o computador, a fim de que os períodos medidos pudessem ser armazenados para posterior tratamento estatístico. Em particular, os valores foram apresentados no Monitor Serial do *Arduino* e posteriormente capturados e gravados para análise.

Para cada ângulo inicial (10° e 60°), foram tomadas 20 leituras de período, as quais foram utilizadas para avaliar a média e o desvio padrão, apresentados na “Tabela 2”:

Tabela 2 -Valores médios e incertezas padrão dos períodos de oscilação do pêndulo obtidos com o sistema *Arduino/LED/LDR*, para ângulos iniciais de 10° e 60° .

	10°	60°
Média (s)	1,332	1,389
Incerteza padrão (s)	0,004	0,004

3.3.Resultados de videoanálise

Por fim, os valores de período para as oscilações para ângulos iniciais de 10° e 60° foram obtidos com o auxílio do software *Tracker*. Com o auxílio de uma câmera *Nikon Coolpix P530*, foram feitas duas filmagens das oscilações de interesse. Com a fixação dos eixos e definição de escala de comprimento feitas de forma conveniente para a análise do problema (conforme ilustrado na “Figura 5”), foi possível extrair do software as curvas da “Figura 6” e dados de posição angular em função do tempo, para os dois ângulos de interesse. Os resultados são apresentados em forma gráfica na “Figura 6”.

Figura 5 – Fixação dos eixos e da escala de comprimento no *software Tracker*.

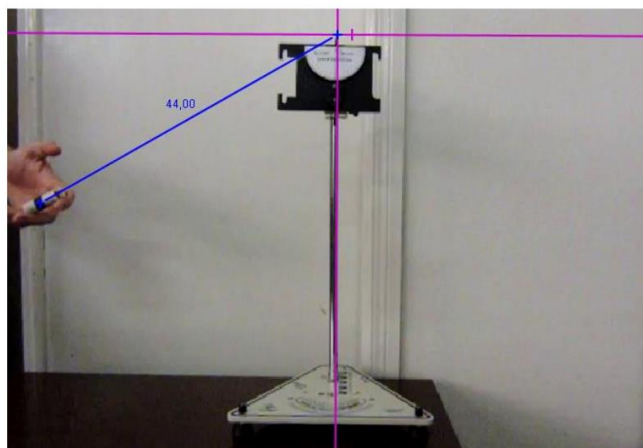
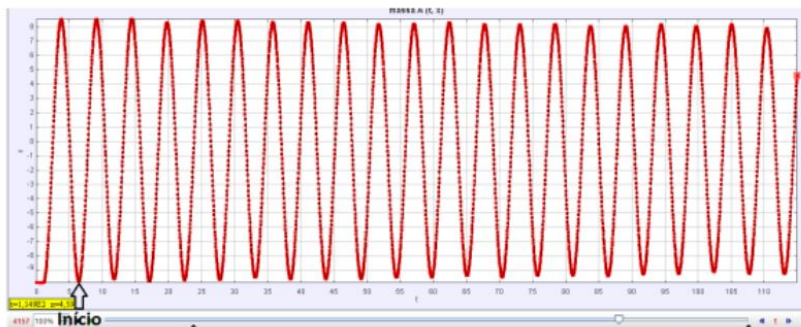


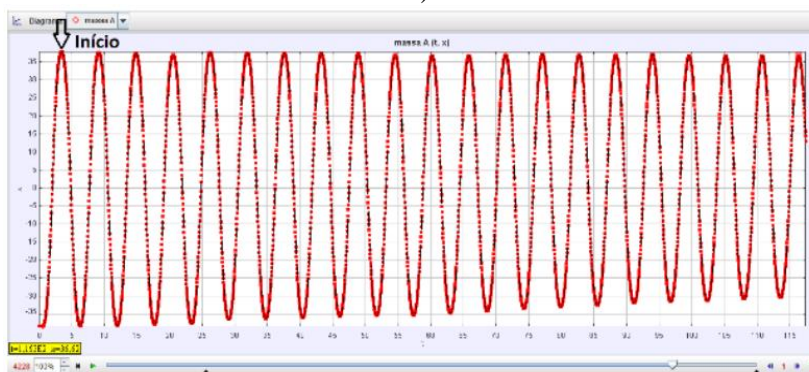


Figura 6 – Curvas da posição angular em função do tempo obtida com o *Tracker* para os ângulos iniciais de 10° (a) e 60° (b).

a)



b)



Os períodos para o ângulo inicial de 10° foram obtidos como o intervalo entre dois vales consecutivos, sendo que a contagem foi iniciada do ponto assinalado por “início” na “Figura 6-a)”. Como no caso do *Arduino*, 20 dados foram considerados para obter um valor de média aritmética e desvio padrão. Procedimento semelhante foi feito para os dados de ângulo inicial de 60°, porém, ao invés de considerar vales consecutivos, tomou-se o intervalo entre picos sucessivos a partir do ponto “início” identificado na “Figura 6-b)”. Os valores obtidos são apresentados na “Tabela 3”:

Tabela 3 -Valores médios e incertezas padrão dos períodos de oscilação do pêndulo obtidos com o *software Tracker*, para ângulos iniciais de 10° e 60°.

	10°	60°
Média (s)	1,35	1,41
Incerteza padrão (s)	0,03	0,02

3.4.Comparação de resultados

Para avaliar os resultados obtidos anteriormente é interessante estipular um critério objetivo de comparação. Em particular, considerem-se as diferenças entre os períodos

$$\begin{aligned}
 \Delta T_{tr-t} &\equiv T_{tracker} - T_{teorico}, \\
 \Delta T_{a-t} &\equiv T_{arduino} - T_{teorico}, \\
 \Delta T_{tr-a} &\equiv T_{tracker} - T_{arduino},
 \end{aligned}
 \tag{4}$$



que são respectivamente as diferenças entre os períodos obtidos com o *Tracker* ($T_{tracker}$) e o valor teórico ($T_{teorico}$), entre os valores do *Arduino* ($T_{arduino}$) e o teórico, e entre os períodos do *Tracker* e o *Arduino*. Pela lei de propagação de incerteza, as quantidades ΔT_{tr-t} , ΔT_{a-t} e ΔT_{tr-a} possuem incertezas dadas por

$$\begin{aligned} u_{tr-t} &= \sqrt{u_{tr}^2 + u_t^2}, \\ u_{a-t} &= \sqrt{u_a^2 + u_t^2}, \\ u_{tr-a} &= \sqrt{u_{tr}^2 + u_a^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

onde u_{tr} , u_a e u_t são, respectivamente, as incertezas padrão dos períodos obtidos com a vídeo análise com *Tracker*, com o sistema *Arduino* e pelo cálculo teórico. Os valores de $T_{tracker}$, $T_{teorico}$, $T_{arduino}$, u_{tr} , u_a e u_t são os valores apresentados nas “Tabelas 1, 2 e 3”. Podemos considerar dois resultados como sendo compatíveis entre si quando a diferença entre eles, em módulo, for menor do que a incerteza desta diferença. Os resultados pertinentes para as comparações desejadas são apresentados a seguir:

Tabela 4 - Valores das diferenças ΔT entre os períodos obtidos com o *Tracker*, *Arduino* e teórico e respectivas incertezas, para ângulos iniciais de 10° e 60°.

Ângulo inicial	ΔT_{tr-t}	u_{tr-t}	ΔT_{a-t}	u_{a-t}	ΔT_{tr-a}	u_{tr-a}
10°	0,02	0,03	0,001	0,004	0,02	0,03
60°	0,03	0,02	-0,03	0,01	0,02	0,02

Desta forma, verifica-se que para 10° os três valores (*Tracker*, *Arduino* e teórico) são compatíveis entre si. Para 60°, verifica-se que o valor obtido com o *Tracker* é compatível com o valor teórico, mas o valor obtido com o *Arduino* não é compatível nem com o teórico, nem com o valor do *Tracker*.

Como os resultados obtidos com o *Arduino* possuem incerteza de medição muito menor do que aquela obtida com o *Tracker*, pode-se concluir que ou o sistema construído com o *Arduino* possui algum erro de natureza sistemática para a medição de período para ângulo grande, ou sua incerteza de medição está subdimensionada. A resposta a este problema exige uma investigação mais profunda que foge ao escopo do trabalho atual.

4. CONCLUSÕES

A proposta de uma atividade laboratorial onde os alunos desenvolveram um sistema de aquisição de dados para medição do período de oscilação de um pêndulo utilizando um *LED*, *LDR* e uma placa *Arduino UNO* mostrou resultados bastante interessantes.

Inicialmente, os alunos mostraram-se capazes de conceber um sistema de medição com o material disponível, bem como implementá-lo para realizar medições. Em particular, a necessidade de concepção do sistema exigiu um maior comprometimento com o processo de medição, pois os erros observados ao longo do desenvolvimento do sistema eram de responsabilidade dos próprios estudantes, que por sua vez deveriam procurar formas de solucionar as dificuldades encontradas.



Um segundo ponto a se ressaltar é o fato de que o uso do *Arduino* exigiu dos estudantes a aplicação de conhecimentos obtidos no cursos de computação em uma atividade prática/laboratorial. Isso indica que a proposta apresentada aqui ainda permite aos alunos realizar uma atividade de caráter multidisciplinar.

Em terceiro lugar, a validação do sistema de medição montado com o *Arduino* (por comparação com outro método experimental e com resultados avaliados teoricamente) permitiu que os estudantes utilizassem outras duas ferramentas modernas de análise de sistemas físicos: simulação computacional e vídeo análise. A comparação de resultados serviu ainda para mostrar que sistemas de medição possuem limitações e estão sujeitos a erros. Os resultados obtidos ainda permitiram concluir que uma boa caracterização de um sistema de medição exige investigações detalhadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, E. F.; DE MOURA, D. G. Metodologias ativas de aprendizagem na Educação Profissional e Tecnológica, B. Tec. Senac, Rio de Janeiro, v. 39, n.2, p.48-67, mai. /ago. 2013.

BEZERRA JR, A.G.; OLIVEIRA, L.P. de O.; LENZ, J.A. e SAAVEDRA, N. Videoanálise com software livre Tracker no laboratório didático de física: movimento parabólico e segunda lei de Newton. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 29, n. Especial 1: set. 2012. p. 469-490.

BORGES, T.S., ALENCAR, G. O uso das Metodologias Ativas como Recurso Didático na Formação Crítica do Estudante do Ensino Superior. Cairu em Revista, Jul./Ago., Ano 03, n° 04, 2014, p. 119-143.

BROWN, D. Video Modeling with Tracker, In: American Association of Physics Teachers AAPT, Summer Meeting, Ann Arbor. 2009.

BROWN, D., COX. A.J. “Innovative Uses of Video Analysis,” Physics Teach. (Early 2009).

BROWN, D., Tracker Free Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education. Disponível: <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/Tracker/>. 2012.

CALIN G., SCOTT E., GEOFFREY E., “An Arduino Investigation of Simple Harmonic Motion,” Phys. Teach. 52, 157. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1119/1.4865518>. 2014.

HAUGEN, A.J., MOORE, N.T. “A model for including Arduino microcontroller programming in the introductory physics lab”. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1407.7613>. 2014.

VUOLO, José Henrique. Fundamentos da Teoria de Erros. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1996. 264p.

WOLFRAM, Stephen. The Mathematica® Book. Wolfram Media. ISBN1-57955-022-3, 2003.



ARDUINO FOR MEASUREMENT SYSTEMS ASSEMBLY: AN EXPERIENCE AT ITA'S TEACHING LABORATORY

Abstract: *In this work, the results of an activity performed at Aeronautical Institute of Technology's (ITA) Engineering basic course are presented. This activity demanded from students the conception and assembly of a measurement system to obtain the oscillation period of a simple pendulum. This system was assembled with an Arduino board, a light-dependent resistor and a light-emitting diode. The measurement results were compared with values of a theoretical prediction and with those obtained with video-analyzes. The results obtained by students are presented and some aspects of the proposal are discussed.*

Key-words: *Arduino, Measurement systems, teaching laboratory, simple pendulum.*