

Experimentos de baixo custo utilizando o aplicativo de física *Phyphox*

EDVCAIO PHYSICORVM



ISSN 1870-9095

Luciano Soares Pedroso^{1,2}, José Antônio Pinto², Josué Antunes de Macêdo^{3,4},
Giovanni Armando da Costa²

¹Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências, Matemática e Tecnologia - PPGECMaT, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Campus JK, Diamantina, Minas Gerais, Brasil.

²Instituto de Ciências Exatas- ICEX, Departamento de Física - DF, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, Minas Gerais, Brasil.

³Departamento de Ensino Superior, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais – IFNMG Campus Januária, Januária, Minas Gerais, Brasil.

⁴Programa de Pós-Graduação em Educação - PPGE, Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes, Montes Claros, Minas Gerais, Brasil.

E-mail: Luciano.pedroso@ufvjm.edu.br

(Recibido el 11 de agosto de 2020, aceptado el 30 de noviembre de 2020)

Resumo

O presente trabalho descreve três experimentos relacionados com a área da Mecânica construídos com objetos do cotidiano especialmente projetados para serem utilizados em conjunto com o aplicativo de Física *Phyphox*: pêndulo simples, determinação da aceleração no movimento retilíneo uniformemente variado e determinação da aceleração gravitacional local por meio da queda livre. O objetivo foi utilizar atividades investigativas articuladas ao *smartphone* como ponto de partida para desenvolver a compreensão dos conceitos de Mecânica. Os experimentos foram validados em laboratório. O uso do *smartphone* com o aplicativo *Phyphox* tende a facilitar a difusão e o acesso a este tipo de instrumento de medida com seus múltiplos sensores entre estudantes, professores e instituições de ensino, sendo ideal para coletar dados e obter respostas gráficas em um laboratório de Ensino de Física e ou Ciências.

Palavras chave: *Phyphox*, Experimento de baixo custo, Ensino de Física.

Abstract

The present work describes three experiments related to mechanics, which were made with everyday objects specially designed to be used in conjunction with the *Phyphox* Physics application: simple pendulum, determination of the acceleration in the uniformly varied rectilinear motion and determination of the local gravitational acceleration by middle of free fall. The objective was to use investigative activities linked to the *smartphone*, as a starting point to develop an understanding of the concepts of mechanics. The experiments were validated in the laboratory. The use of the *Smartphone* with the *Phyphox* application tends to facilitate the dissemination and access to this type of measurement instrument with its multiple sensors among students, teachers and educational institutions, being ideal for collecting data and obtaining graphic responses in a Teaching laboratory of Physics and or Sciences.

Keywords: *Phyphox*, Low cost experiment, Physics education.

I. INTRODUÇÃO

Os *smartphones* proliferaram entre estudantes do Ensino Médio e universitários, e esses computadores de bolso tornaram-se ferramentas aliadas à prática do professor nas salas de aula e nos laboratórios de Física quando o intuito é realizar e analisar dados experimentais.

Ostentando uma variedade de sensores, o *smartphone* oferece um dispositivo familiar que pode executar muitas das mesmas funções que um equipamento de laboratório específico como acelerômetros, luxímetros [1], fotogate [2],

magnetômetros e decibelímetros, com resultados surpreendentes.

O uso de aparelhos *smartphones* por parte dos estudantes, quer em sala de aula ou mesmo em alguns laboratórios de Ciências, vem crescendo ao longo dos anos, principalmente por causa dos mais variados sensores que estes aparelhos apresentam [3].

O acelerômetro e o giroscópio de um *smartphone*, por exemplo, podem ser usados para rastrear o movimento de um pêndulo e determinar sua velocidade angular. A velocidade

e a altura atingida por um elevador, por sua vez, pode ser medida explorando o sensor de pressão.

Além disso, o *smartphone* pode ser transformado em um sonar capaz de medir a distância entre os objetos ou mesmo verificar a luminosidade de um ambiente. Hoje quase todos os estudantes da graduação entram em laboratórios de Física de posse de um dispositivo pessoal com muitos, se não todos os recursos de coleta de dados de que precisam para realizar a maioria dos experimentos propostos pelo professor.

A proposta da experimentação investigativa deve ser apresentada ao estudante partindo-se de uma situação problema. O estudante deve ter a liberdade de propor hipóteses, discuti-las, testá-las, reformulá-las ou refutá-las, sob a mediação do professor. Nesse tipo de atividade o estudante faz uso de seus conhecimentos anteriores, compartilha-os com os demais colegas e, durante a discussão, suas ideias podem ser rejeitadas, melhoradas ou aprovadas desde que atenda a solução do problema inicial. Nesta perspectiva, a pesquisa que ora se desenvolve, procura responder a seguinte situação: o uso articulado entre experimentos reais e os dados coletados pelos sensores do *smartphone*, acoplado a estes experimentos, permitem lidar o que a literatura da área afirma sobre conceitos de mecânica newtoniana?

Na tentativa de responder a essa situação, esse trabalho objetiva utilizar atividades investigativas articuladas à utilização do aplicativo *Phyphox* aliado ao *smartphone*, como ponto de partida para desenvolver a compreensão dos conceitos de Mecânica, certificando, dentro das limitações, conceitos científicos relacionados à aceleração gravitacional local, aceleração de um objeto em movimento variado além do período de um pêndulo simples.

As especificações técnicas do aplicativo de Física *Phyphox*, encontra-se no apêndice.

II. APORTE TEÓRICO

Com um olhar crítico sobre o ensino de Ciências e mais acentuado sobre o ensino de Física, é possível perceber algumas carências, principalmente no que diz respeito a lacunas na formação dos professores e a subutilização da infraestrutura escolar, particularmente no que diz respeito ao uso de atividades experimentais.

A maioria das escolas públicas de Minas Gerais, principalmente na região de Alfenas possui espaços físicos destinados a atividades experimentais, mas continuamente, estes espaços acabam funcionando como salas de aula, quando não são destinados como depósitos.

Por outro lado, diversas atividades práticas e experimentais que poderiam perfeitamente ser realizadas em sala de aula são deixadas de lado pelos professores, pois acreditam que necessitam de salas especiais para essa finalidade [4].

Assim, o uso do *smartphone* como aporte ferramental na tomada de dados experimentais pode solucionar esta falta de espaço e de instrumentos de medida, em substituição a equipamentos caros e muitas vezes complicados

demasiadamente de operacionalizar em um ambiente inadequado.

Neste sentido, percebe-se a necessidade de uma formação docente em que o uso do laboratório e de experimentos, mesmo que se utilize de materiais de baixo custo [1, 4], seja uma prática cotidiana na sala de aula durante essa formação [5]. Como afirmam Barbieri e Carvalho [6]:

Embora o Ensino de Ciências através de experiências seja apontado por todos [...] como condição básica para a aprendizagem, o ensino experimental não se viabiliza nas escolas. Os professores têm dificuldades em realizar experimentos principalmente porque, durante a sua formação em cursos de Licenciatura, muitos não têm acesso a laboratórios. (p. 158)

Quando os estudantes dispõem de aulas de laboratório, normalmente fazem uso de roteiros pré-estabelecidos e fechados, devendo seguir certos procedimentos, medir e relatar resultados, não sendo, assim, preparado a demonstrar ou construir os objetos envolvidos na atividade experimental, nem explorar relações, testar hipóteses ou mesmo escolher entre duas ou mais explicações para o fenômeno em questão.

Nesta perspectiva, este trabalho buscou se apoiar nas afirmativas de Moreira e Levandowski [7] ao evidenciarem que a atividade experimental investigativa “[...] é componente indispensável no ensino de Física [...]”, sendo que “[...] esse tipo de atividade pode ser orientado para a consecução de diferentes objetivos” (p. 21). As atividades experimentais investigativas contemplam um menor grau de estruturação e de direcionamento, atendendo a importantes finalidades formativas [8, 9, 10, 11, 12, 13].

De acordo com [14] é preciso realizar diferentes atividades que devem estar acompanhadas de situações-problemas, capaz de promover questionamentos, discussões e resolução de problema, dando oportunidade aos estudantes de construir o seu conhecimento.

Para que uma atividade experimental possa ser considerada de investigação, a ação do estudante não deve se limitar apenas ao trabalho de manipulação, coleta de dados ou observação, pois ela deve também conter características de um trabalho científico.

Neste sentido, o estudante deve refletir, discutir e explicar, o que dará ao seu trabalho as características de uma investigação científica. Essa investigação, porém, deve ser fundamentada, ou seja, é importante que uma atividade investigativa faça sentido para o estudante, de modo que ele saiba os motivos de pesquisar sobre o fenômeno que lhe é apresentado.

É fundamental nesse tipo de atividade que o professor apresente um problema sobre o que está sendo estudado. A colocação de uma questão ou problema aberto como ponto de partida é ainda um aspecto fundamental para a criação de um novo conhecimento. Para Lewin e Lomascólo [15]:

A situação de formular hipóteses, preparar experiências, realizá-las, recolher dados, analisar resultados, quer dizer, encarar trabalhos de laboratório como ‘projetos de investigação’, fornece fortemente a motivação dos alunos, fazendo-os adquirir atitudes tais como curiosidade, desejo de experimentar, acostumar-se a

duvidar de certos resultados, a confrontar resultados, a obterem profundas mudanças conceituais, metodológicas e atitudinais (p.148).

Pode-se afirmar que a aprendizagem de procedimentos e atitudes se torna, dentro do processo de aprendizagem, tão importante quanto a aprendizagem de conceitos e ou conteúdos. Entretanto, só haverá a aprendizagem e o desenvolvimento desses conteúdos - envolvendo a ação e o aprendizado de procedimentos - se houver a ação do estudante durante a resolução de um problema.

Diante de um problema colocado pelo professor, o estudante deve refletir, buscar explicações e participar com mais ou menos intensidade (dependendo da atividade didática proposta e de seus objetivos) das etapas de um processo que leve à resolução do problema proposto, enquanto o professor muda sua postura, deixando de agir como transmissor do conhecimento, passando a agir como um mediador.

Com essas ideias em mente, percebe-se que as atividades investigativas em sintonia com o uso do aplicativo *Phyphox* possibilitam a percepção que o conhecimento científico se dá por meio de um processo dinâmico e aberto que convida o estudante a participar da construção do próprio conhecimento. A seguir, descreve-se alguns aspectos importantes da atividade científica que podem ser explorados em uma atividade experimental de investigação articulada ao uso do *smartphone*, apontados por Gil Perez e Castro [16]:

1. Apresentar situações-problema abertos que possam fazer uso dos variados sensores do *smartphone*;
2. Favorecer a reflexão dos estudantes sobre a relevância e o possível interesse das situações propostas;
3. Potencializar análises qualitativas e quantitativas significativas, como gráficos, tabelas e dados, que ajudem a compreender e acatar as situações planejadas e a formular perguntas operativas sobre o que se busca;
4. Considerar a elaboração de hipóteses como atividade central de investigação científica, sendo este processo capaz de orientar o tratamento das situações e de fazer explícitas as preconcepções dos estudantes;
5. Considerar as análises, com atenção para os resultados (sua interpretação física, confiabilidade, dentre outras.), a partir dos conhecimentos disponíveis, das hipóteses manejadas e dos resultados das demais equipes de estudantes, considerando que o aplicativo *Phyphox* possibilita o envio de resultado no formato multiplataforma;
6. Conceder uma importância especial às memórias científicas que reflitam o trabalho realizado e possam ressaltar o papel da comunicação e do debate na atividade científica;
7. Ressaltar a dimensão coletiva do trabalho científico, por intermédio de grupos de trabalho, que interajam entre si. (p. 155, tradução nossa - adaptado)

Outro objetivo que se deve ter em mente quando se insere em sala de aula atividades investigativas associadas ao uso do *smartphone* é proporcionar a participação do estudante de modo que ele comece a produzir seu conhecimento por meio da interação entre pensar, sentir e fazer. A articulação entre atividades realizadas em um laboratório do tipo investigativo e o uso do *smartphone* pode ser, portanto, uma metodologia

contemporânea importante no desenvolvimento de habilidades e capacidades tais como: raciocínio, interpretação, análise, flexibilidade, argumentação e ação.

É possível explorar ainda as competência e habilidades da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias previstas na Base Nacional Comum Curricular do Brasil – BNCC [17], tais como “interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências” (p. 554).

Além do conhecimento de fatos e conceitos adquiridos nesse processo, há a aprendizagem de outros conteúdos, atitudes, valores e normas que favorecem o desenvolvimento dos estudantes. Não se pode esquecer que quando se pretende proporcionar uma aprendizagem significativa, o processo é mais importante que o produto. E nesse sentido é fundamental avaliar o impacto das tecnologias digitais da informação e comunicação na formação do professor de Física e em suas práticas em sala de aula, para que o uso crítico dessa ferramenta em seu cotidiano possibilite selecionar, compreender e produzir dados e resultados dentro de um ambiente digital.

Desse modo, utilizar atividades investigativas articuladas ao *smartphone* como ponto de partida para desenvolver a compreensão de conceitos de mecânica - que é o principal objetivo deste trabalho - é uma forma de levar o licenciando em Física a participar de seu processo de aprendizagem, sair de uma postura passiva e começar a perceber e a agir sobre o objeto de estudo, relacionando-o com acontecimentos e buscando as causas dessa relação, procurando, portanto, uma explicação causal para o resultado de suas ações ou interações.

Esse trabalho é relevante uma vez que existe pouca literatura em língua portuguesa que aborda o uso do aplicativo *Phyphox* em experimentos de Física. Em uma busca realizada no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e no Google Acadêmico, encontrou-se somente o trabalho descrito na Ref. [18].

A Ref. [18] aborda as temáticas da Lei de Hooke e de Movimento Harmônico Simples (MHS), utilizando o simulador PhET (*Physics Educational Technology*), GIFs (*Graphics Interchange Format*) e o sensor acelerômetro de um *smartphone* em conjunto com aplicativo *Phyphox* para estudar as oscilações de um objeto acoplado a uma mola. Os demais trabalhos encontrados, sendo seis ao todo, são em língua estrangeira, sendo três em alemão e três escritos na língua inglesa.

Os artigos publicados em alemão foram escritos por professores da RWTH Aachen University (Alemanha). Foi nessa Universidade que o *Phyphox* foi desenvolvido. Dentre eles [19, 20] apresentam experimentos que foram desenvolvidos no campo da Mecânica para o Ensino Médio, usando o *smartphone* com o aplicativo *Phyphox*. Já [21] descreve experimentos de rotação utilizando o *Phyphox*.

A Ref. [22] discute o uso de um aplicativo para coletar os dados dos experimentos, utilizado em conjunto com o *Phyphox*. Já [23] descreve experimentos de Física Clássica

construídos com objetos do cotidiano e sensores de baixo custo. Por fim, [24] apresenta experimentos para determinar o coeficiente de restituição no objeto que sofre uma colisão parcialmente elástica a diferentes temperaturas, utilizando o aplicativo de celular *Phyphox*.

III. PERCURSO METODOLÓGICO

Com o intuito de investigar e reconhecer o *smartphone* como uma robusta ferramenta para acompanhar e coletar dados dos mais variados experimentos realizados em laboratórios, uma vez que a maioria desses computadores de bolso vem equipados com sensores internos que podem medir a aceleração, a orientação, o volume do áudio, a densidade da luz e até a intensidade do campo magnético, propõe-se nesse trabalho três experimentos com enfoque no laboratório do tipo investigativo que utilizavam o *smartphone* com o aplicativo *Phyphox* abarcado.

Os experimentos foram elaborados e validados no laboratório de Ensino de Física da Universidade Federal de Alfenas – Unifal (Alfenas - MG) com a turma de Licenciatura em Física, possibilitando assim coletar,

apresentar e tratar os resultados de alguns experimentos envolvendo conceitos de movimento variado, aceleração, movimento harmônico e queda livre.

IV. VALIDAÇÕES

Dentre os mais variados aplicativos com finalidade pedagógica, o *Phyphox* mostrou-se, em vários resultados obtidos em comparação com equipamentos de uso no laboratório de Física da Unifal, possuir latência e qualidade nas respostas no momento da coleta dos dados, dentro do que se espera para a análise de experimentos em laboratório de ensino de Ciências.

Esse aplicativo utiliza os sensores do *smartphone*, além de oportunizar aos estudantes que conduzam seus experimentos e compreendam conceitos com a aquisição e análise dos dados fornecidos por tabelas e gráficos. Neste artigo dar-se-á uma ênfase especial aos experimentos de Mecânica e ou Dinâmica.

Para fins de análise dos eixos de rotação do *smartphone* utiliza-se a regra da mão direita e para a translação utiliza-se o espaço euclidiano, conforme mostram as Figuras 1a e 1b.

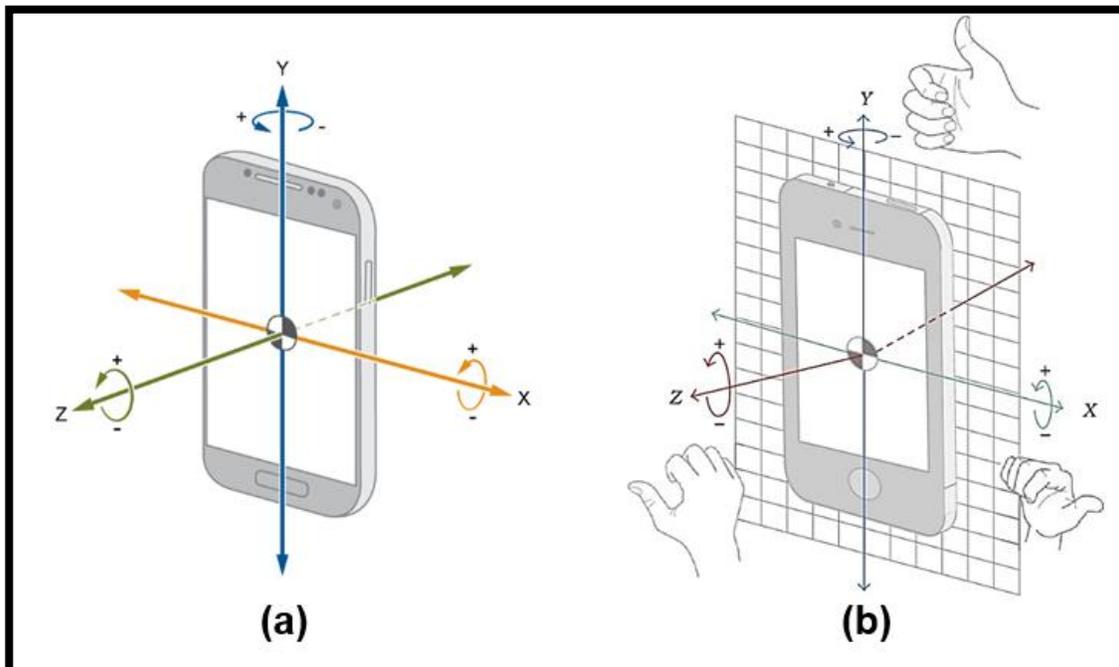


FIGURA 1. Em (a) eixos cartesianos para análise dos movimentos de rotação do *smartphone* e em (b) espaço euclidiano para análise da sua translação. Fonte: Acervo dos autores.

A. Pêndulo Simples

Para esta atividade experimental, propomos a seguinte situação: o que ocorre com a frequência de um pêndulo quando variamos o seu comprimento?

Apropriando-se dessa situação, construiu-se o aparato experimental, conforme a Figura 2, para receber o *smartphone* e torná-lo um pêndulo simples. A Figura 3

evidencia os resultados coletados pelo sensor de movimento do *smartphone* e transformados em frequência de um pêndulo simples com a ajuda do experimento “Pêndulo” abarcado no aplicativo *Phyphox*. Também, na Figura 3, observa-se os resultados obtidos pelo experimento em comparação com a teoria que descreve este tipo de movimento para pequenas amplitudes de abandono.

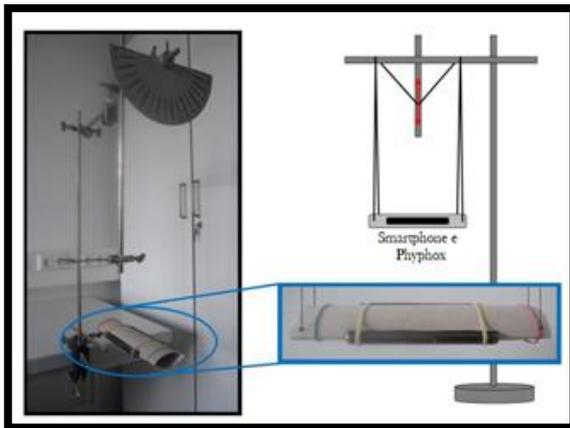


FIGURA 2. Em Aparato experimental construído para receber o *Smartphone* e torná-lo um pêndulo simples. Fonte: Acervo dos autores.

A Figura 3 caracteriza um dos resultados experimentais com o uso do *Phyphox*. Os dados coletados pelo aplicativo apontam que para um pêndulo de 100,0 cm de comprimento, abandonado a um ângulo aproximado de 10° em relação ao horizonte, sua frequência ficará em torno de 0,49 Hz.



FIGURA 3. Resultado da frequência do pêndulo simples quando abandonado sob a ação da aceleração gravitacional a um ângulo de aproximadamente 10° . Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 4 evidencia o comparativo entre os dados teóricos e os dados coletados pelo sensor acelerômetro do *smartphone* com resultados convertidos em Hertz em função do comprimento do pêndulo. Pode-se verificar que o aplicativo *Phyphox* apresentou um excelente resultado.

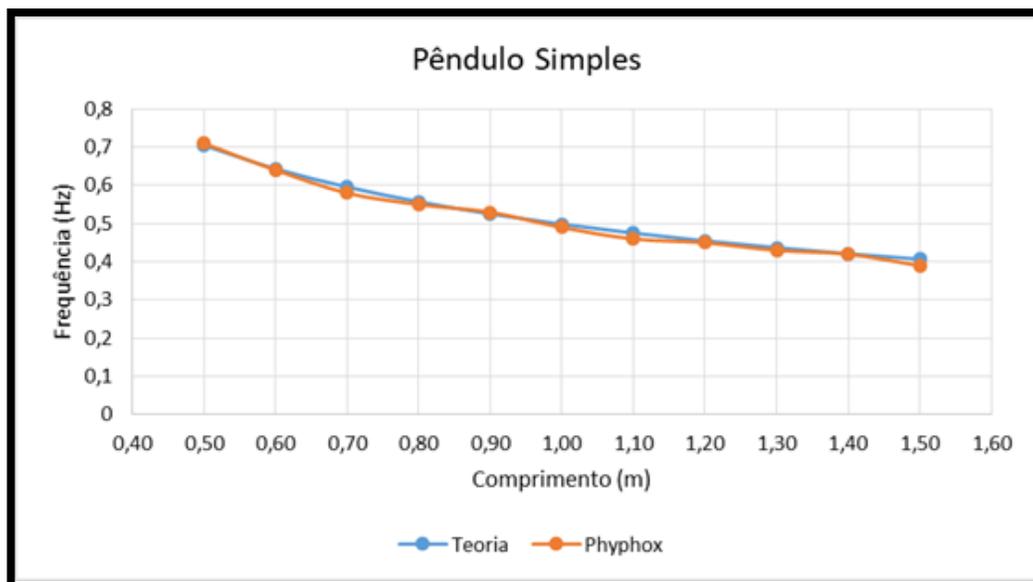


FIGURA 4. Comparativo entre dados previstos pela teoria e oriundos do experimento Pêndulo com auxílio do *Phyphox*. Fonte: Dados da pesquisa.

B. Aceleração no Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (Sistema de Blocos)

Para este experimento de Mecânica, foi apontado a seguinte situação: Ao modalizarmos a massa do balde que traciona o conjunto, o que ocorre com a aceleração do sistema?

Com a finalidade de responder a essa questão, utilizou-se

um carrinho de brinquedo que foi tracionado por um balde em miniatura, além de uma polia, conforme se pode ver na Figura 5. Desprezou-se o atrito entre as rodas e a superfície e entre o eixo e o plástico que compõe o corpo do carrinho, bem como os atritos da polia e o momento de inércia do conjunto.

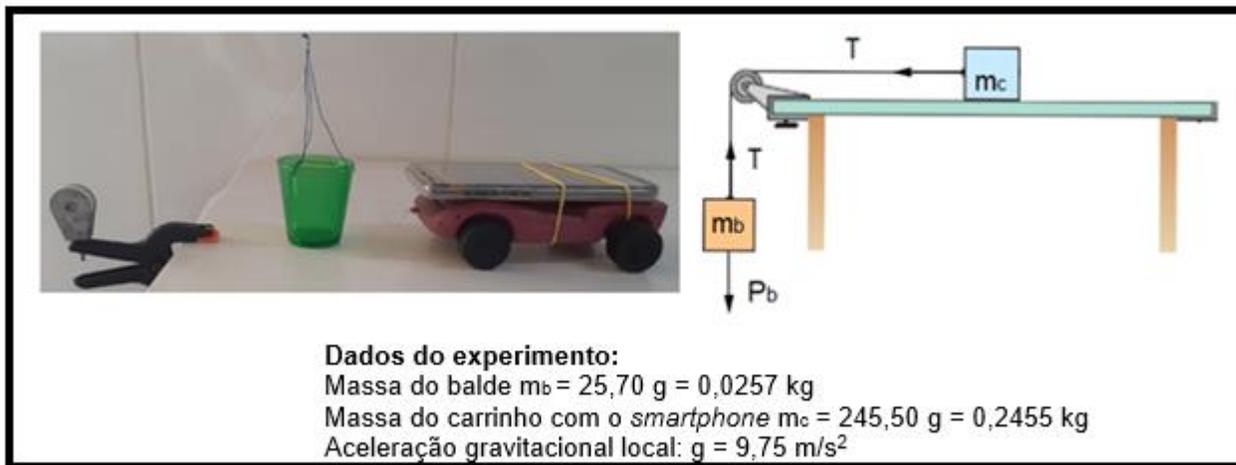


FIGURA 5. Experimento de movimento uniformemente variado (MUV). Fonte: acervo dos autores.

Manipulando as equações (1 e 2), é possível determinar a aceleração do carrinho.

$$P_b - T = m_b \cdot a, \quad (1)$$

$$T = m_c \cdot a, \quad (2)$$

$$a = \frac{P_b}{(m_b + m_c)}. \quad (3)$$

Substituindo os dados do experimento que constam na Fig. 5 na equação (3), obtém-se a aceleração do sistema.

$$P_b = m_b \cdot g = 0,0257 \cdot 9,75 = 0,257 \text{ N},$$

$$a = \frac{0,257}{0,0257 + 0,2455} = 0,95 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

A Figura 6 evidencia o resultado obtido com o *Phyphox*, acionando o experimento “Aceleração (sem g)”. Observa-se que o erro cometido foi em módulo de apenas 0,02 m/s^2 .



FIGURA 6. Resultado do experimento de movimento uniformemente variado (MUV), no *Phyphox*. Fonte: Acervo dos autores.

O resultado obtido pelo experimento “Aceleração sem g” foi compatível com o valor calculado anteriormente utilizando a segunda Lei de Newton.

C. Aceleração gravitacional local com experimento de queda livre

Nesta atividade experimental foi apresentado a seguinte situação: é possível obtermos a aceleração gravitacional local através de um experimento simples de queda livre?

No intuito de responder à questão acima, partimos do princípio que a cidade de Alfenas - MG possui altitude de 882m do nível do mar e coordenadas geográficas de Latitude: $21^\circ 25' 46''$ Sul e Longitude: $45^\circ 56' 50''$ Oeste, que de acordo com [25], possui aceleração gravitacional local de aproximadamente $9,7838 \text{ m/s}^2$.

Com a finalidade de validarmos o uso do aplicativo na obtenção do valor da aceleração gravitacional local, partimos da equação (4), e assumimos $g_\lambda = g_{45^\circ} = 9,8062 \text{ m/s}^2$ que representa a aceleração da gravidade padrão, ao nível do mar e na latitude = 45° , que será indicada por g_p . Esta equação possibilita encontrarmos o valor aproximado da aceleração gravitacional levando em consideração a latitude e a altitude local.

$$g_{\lambda z} \approx \frac{g_p}{1 + \frac{z}{R}} (1 + \beta \text{sen}^2 \lambda) \left(1 - \frac{2z}{R}\right), \quad (4)$$

em que:

$\beta = 5,300 \times 10^{-3}$ (é um fator numérico que leva em conta a rotação terrestre, em torno de seu eixo, e o achatamento polar devido a essa rotação);

λ = latitude local = $21^\circ 25' 46''$ SUL;

z = altitude local (m) = 882 m;

R = raio da Terra = $6,371 \times 10^6 \text{ m}$.

Ao substituímos os valores relacionados à cidade de Alfenas – MG em (4), encontramos $g_{\lambda z} \approx 9,7838 \text{ m/s}^2$ para o valor da aceleração da gravidade local.

O experimento de queda livre utilizou-se do recurso nomeado de Cronômetro Acústico (CA) abarcado no

aplicativo *Phyphox*.

Para esse experimento, as condições sonoras do ambiente no qual ele é realizado interferem significativamente nos dados coletados, uma vez que o cronômetro do *smartphone* é acionado pelo som produzido no abandono e no impacto da esfera ao final do percurso.

Experimentos de baixo custo utilizando o aplicativo de física Phyphox

Deve-se ficar atento ao ruído e ao eco produzidos no ambiente onde será realizado o experimento e modificar o valor do limiar e do intervalo mínimo dependendo desses resultados, como descrito nas instruções no experimento CA, conforme a Figura 7 a seguir.



FIGURA 7. Em (a) tela do experimento CA e em (b) as instruções acerca das condições do ambiente. Fonte: Acervo dos autores.

Através da queda livre de esferas de aço, pode-se medir a aceleração da gravidade g . Caso a esfera seja abandonada de uma altura h , com velocidade inicial nula ($v_i = 0$), vale a relação:

$$h = \frac{1}{2}gt^2, \quad (5)$$

no qual g é o valor da aceleração da gravidade local e t , o intervalo de tempo de queda aferido pelo CA abarcado no aplicativo *Phyphox*.

Medindo-se os intervalos de tempo t , diferentes para cada altura h escolhida, pode-se obter a constante g através da linearização dessa função quadrática. Ao plotar em um gráfico diretamente h em função de t , tem-se uma parábola, no entanto, ao calcular os quadrados de t , isto é, t^2 , e plotar o gráfico de h em função de t^2 , obtém-se:

$$h = \frac{1}{2}g \cdot u, \quad (6)$$

em que:

$$u = t^2. \quad (7)$$

Portanto, o gráfico de h em função de u corresponde a uma reta, cujo coeficiente angular é:

$$\frac{g}{2}. \quad (8)$$

Este processo de análise é conhecido como linearização (Figura 8), e é utilizado para facilitar a obtenção de coeficientes angulares e lineares constantes através de uma reta. Note que é mais fácil construir e interpretar uma reta média do que uma parábola média.

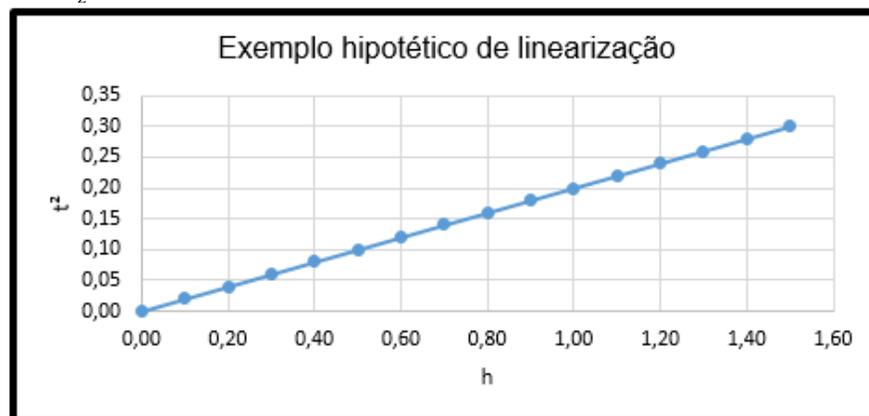


FIGURA 8. Exemplo de linearização de uma função de grau 2. Fonte: Acervo dos autores.

Para o experimento de queda livre com o uso do CA abarcado no aplicativo *Phyphox*, construiu-se o aparato representado pela Figura 9, utilizando-se de uma esfera de aço, um martelo, uma trena e uma chapa de metal para apoio da esfera, além de uma haste com suporte.



FIGURA 9. Aparato experimental para abandono da esfera que entrará em queda livre. Fonte: Acervo dos autores.

Ao abandonar o martelo, este impactará a chapa de metal emitindo um som que ativará o CA e, por inércia, a esfera de aço é abandonada ao efeito da aceleração gravitacional local, no qual pode-se desprezar a resistência do ar, conforme ilustra a Figura 10. Ao colidir com o solo, há uma nova

emissão de som que desativará o CA registrando o intervalo de tempo de queda da esfera.

Com os dados experimentais obtidos com o Cronômetro Acústico, foi possível determinar g para diferentes alturas. Utilizou-se a equação (9), que foi obtida a partir da equação (5), sendo o resultado obtido mostrado no Quadro 1.

$$g = \frac{2h}{t^2} \quad (9)$$

QUADRO 1: Dados experimentais. Fonte: Dados da pesquisa.

h (m)	t (s)	t ² (s ²)	g (m/s ²)
0,949	0,441	0,194	9,759
0,963	0,444	0,197	9,770
0,978	0,447	0,200	9,789
1,011	0,456	0,208	9,724
1,042	0,462	0,213	9,764
1,079	0,471	0,222	9,728
1,098	0,475	0,226	9,733
1,125	0,48	0,230	9,766
1,140	0,484	0,234	9,733
1,173	0,491	0,241	9,731
Valor Médio			9,750
Desvio padrão			0,021

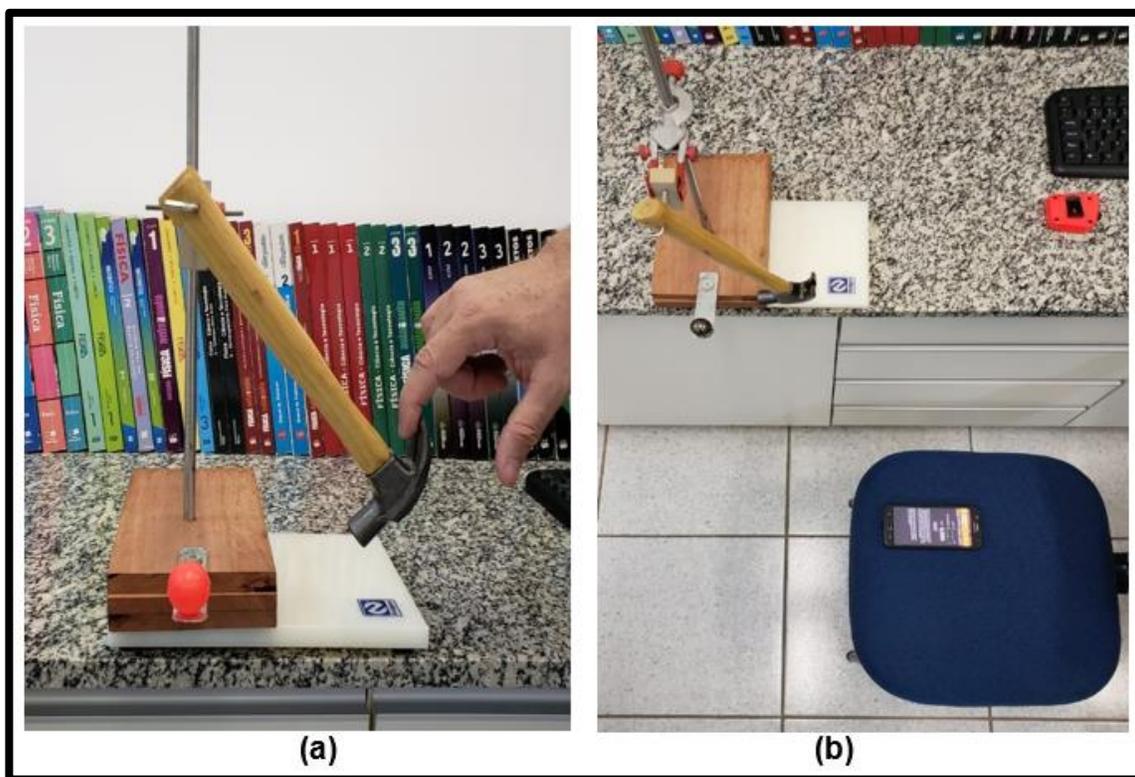


FIGURA 10. Em (a) aparato experimental para coleta de intervalos de tempo e cálculo da aceleração gravitacional local. Em (b) cronômetro acústico do *Phyphox* coletando o tempo de queda da esfera. Fonte: Acervo dos autores.

Encontrou-se para o valor da aceleração gravitacional local $g_{\text{local}} = (9,750 \pm 0,021) \text{ m/s}^2$.

A Figura 11 representa a linearização do valor da aceleração gravitacional com os dados experimentais obtidos com o CA, cuja equação de regressão linear da reta, obtida em um *software* estatístico é dada por $y = 4,7925x + 0,0177$, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9994$, significando que essa equação explica 99,94% do fenômeno averiguado.

O coeficiente angular da reta denotada por essa equação, sendo igual a 4,7925, de acordo com a equação (8) descreve $g/2$, isto é $g = 9,5850 \text{ m/s}^2$, que está bem próximo do valor teórico de g descrito na *Ref.* [25] e obtido por meio da equação (4), isto é $9,7838 \text{ m/s}^2$. Observe que nesse caso, o erro em módulo é de $0,1988 \text{ m/s}^2$.

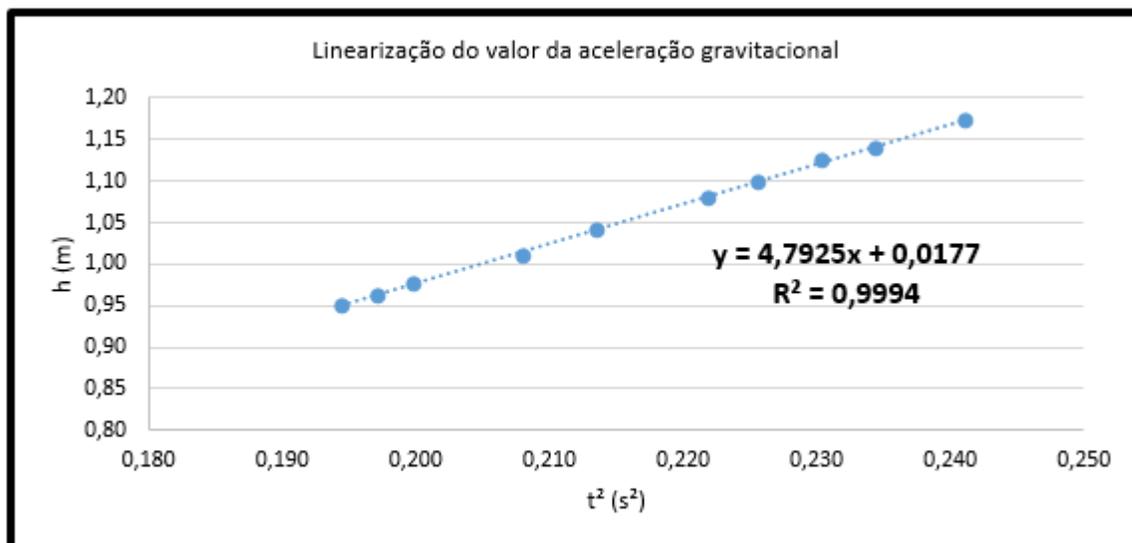


FIGURA 11. Linearização do valor de g segundo as equações 6 e 7. Fonte: Dados da pesquisa.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos experimentos realizados com o auxílio do *Phyphox* articulados a sequências didáticas com enfoque no laboratório do tipo investigativo mostraram-se adequados para o uso em laboratório de Ensino de Ciências.

A manipulação do *smartphone* com seus múltiplos sensores, seja por estudantes e/ou professores, representa uma alternativa econômica para os equipamentos caros necessários para muitos experimentos em escolas de educação básica ou superior.

Constatou-se que um dos diferenciais do *Phyphox* é a possibilidade de os dados serem analisados diretamente no *smartphone*, além de serem monitorados e apresentados enquanto o experimento está em andamento por um dispositivo pareado ou mesmo para toda a sala com o uso de um *datashow*, permitindo acesso remoto aos dados e, ainda, possibilitando a visualização de forma dinâmica e versátil desses dados na forma de gráficos e ou tabelas.

Identifica-se, através do emprego das situações problemas articulados com o aplicativo *Phyphox* em uma perspectiva de investigação, a possibilidade dos futuros professores desenvolverem habilidades práticas básicas para o ensino de Ciências, elemento essencial para sua função docente.

Concomitante, esse uso articulado pode desenvolver o senso de interpretação de dados experimentais, propiciando utilizar as observações para solucionar problemas

específicos de Mecânica e Dinâmica, possibilitando uma maior interação entre o experimento e a teoria.

Nota-se que o uso do *Phyphox* na coleta dos dados experimentais oportuniza a aprendizagem de procedimentos típicos do Método Científico, estimula o interesse dos estudantes no estudo de Física, reduz o ruído cognitivo de modo que se concentrem nos conceitos envolvidos nos experimentos e viabiliza um *feedback* no intuito de aperfeiçoar a compreensão dos conceitos acerca do que foi apresentado.

O uso do *smartphone* com o aplicativo *Phyphox* e pareado ao computador e aos *smartphones* dos estudantes de forma remota, assegurou a coleta de informações de uma maneira mais rápida, permitindo o engajamento dos aprendizes em tarefas com alto nível de interatividade, apresentando e evidenciando situações sobre os modelos apresentados para a coleta dos dados, tornando, assim, conceitos abstratos mais concretos durante a sua realização.

Ao se buscar uma interpretação aprofundada dos dados coletados pelo *Phyphox* através de tabelas e gráficos, percebe-se a abertura de possibilidades em promover habilidades de raciocínio crítico frente a modelos da realidade, incentivando os estudantes a realizarem pesquisas posteriores, auxiliando-os a transpor a barreira entre teoria e prática. Entretanto, essa análise será realizada em pesquisas futuras com o uso coordenado entre experimentos reais e o *smartphone* em salas de aula da Educação Básica.

REFERÊNCIAS

- [1] Pedroso, L. S., Macêdo, J. A. Araújo, M. S. T., Voelzke, M. R., *Construção de um luxímetro de baixo custo*, Revista Brasileira de Ensino de Física **38**, e2503-1 - e2503-8 (2016).
- [2] Macêdo, J. A., Pedroso, L. S., Costa, G. A., *Aprimorando e validando um fotogate de baixo custo*, Revista Brasileira de Ensino de Física **40**, e5403-1 - e5403-8 (2018).
- [3] Vieira, L. P., Aguiar, C. E., *Mecânica com o acelerômetro de smartphones e tablets*, Física na Escola **14**, 8-14 (2016).
- [4] Axt, R., Moreira, M. A., *O ensino experimental e a questão do equipamento de baixo custo*, Revista de Ensino de Física **13**, 97-103 (1991).
- [5] Vieira, I. V., Maia, T. C., Gonçalves, J. S. A., Costa, D. R. M., *A utilização de atividade experimental no ensino de física: uma experiência didática a partir da vivência do estágio supervisionado*, Experiências em Ensino de Ciências **13**, 404-414 (2018).
- [6] Barbieri, M. R., Carvalho, C. P., *Projeto USP/BID-formação de professores de ciências*, Boletim da Filosofia **6**, 4 (1993).
- [7] Moreira, M. A., Levandowski, C. E., *Diferentes abordagens ao ensino de laboratório*, (Editora da Universidade, Porto Alegre, 1983).
- [8] Araújo, M. S. T., Abib, M. L. V. S., *Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades*, Revista Brasileira de Ensino de Física **25**, 176-194 (2003).
- [9] Barbosa, D. F. S., Rocha, C. J. T., Malheiro, J. M. S., *As perguntas do professor monitor na experimentação investigativa em um clube de ciências: classificações e organização*, Research, Society and Development **8**, 1-21 (2019).
- [10] Campos, F. R. A. *Aprendizagem significativa de lentes esféricas construída a partir de atividade experimental investigativa*, Dissertação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal de Lavras, Lavras (2019).
- [11] Galvão, I. C. M., Assis, A., *Atividade experimental investigativa no ensino de física e o desenvolvimento de habilidades cognitivas*, Revista de Ensino de Ciências e Matemática **10**, 14-26 (2019).
- [12] Moura, F. A., Silva, R., *O ensino de física por Investigação: A socioconstrução do conhecimento para medir a aceleração gravitacional*, Research, Society And Development **8**, 1-13 (2019).
- [13] Santos, A. P., Fernandes, G. W. R., *O papel das atividades investigativas para o ensino de física na educação de jovens e adultos*, Experiências em Ensino de Ciências **13**, 64-89 (2018).
- [14] Carvalho, A. M. P., Garrido, E., Castro, R. S., *El papel de las actividades en la construcción del conocimiento en clase*, Revista Investigación en la Escuela **25**, 61-70 (1995).
- [15] Lewin, A. M. F., Lomascolo, T. M. M., *La Metodologia científica en la construcción de conocimientos*, Revista Brasileira de Ensino de Física **20**, 147-154 (1998).
- [16] Gil Perez, D., Castro, P. V., *La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo*, Enseñanza de las Ciencias **14**, 0155-163 (1996).
- [17] Brasil. *Base nacional comum curricular*, Ministério da Educação, (Secretaria de Educação Básica, Brasília, 2018). <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_verseofinal_site.pdf>. Acesso em 11 ago. 2020.
- [18] Santos, G., Reis, J., Santos, B., Peralta, M. A., *Sequência de ensino investigativa para o ensino da lei de Hooke e movimento harmônico simples: uso do aplicativo Phyphox, o simulador Phet e GIF's*, Revista de Enseñanza de la Física **31**, 91-108 (2019).
- [19] Goertz, S., Heinke, H., Riese, J., Stampfer, C., Kuhlen, S., *Smartphone-Experimente zu gleichmäßig beschleunigten Bewegungen mit der App Phyphox*, Didaktik der Physik - Frühjahrstagung, 225-232 (2017).
- [20] Götze, B., Heinke, H., Riese, J., Stampfer, C., Kuhlen, S., *Smartphone-Experimente zu harmonischen Pendelschwingungen mit der App Phyphox*, Didaktik der Physik - Frühjahrstagung, 233-239 (2017).
- [21] Kuhlen, S., Stampfer, C., Wilhelm, T., Kuhn, J., *Phyphox bringt das Smartphone ins Rollen: Smarte Physik*, Physik in unserer Zeit **48**, 148-149 (2017).
- [22] Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H., Stampfer, C., *Advanced tools for smartphone-based experiments: Phyphox*, Physics Education **53**, 1-6 (2018).
- [23] Bouquet, F., Dauphin, C., Bernard, F., Bobroff, J., *Low-cost experiments with everyday objects for homework assignments*, Physics Education **54**, 1-7 (2019).
- [24] Hikmatiar, H., Wahyuni, M. E., *Determination the coefficient of restitution in object as temperature function in partially elastic collision using phyphox application on smartphone*, Science and Technology Indonesia **4**, 88-93 (2019).
- [25] LOPES, W. *Variação da aceleração da gravidade com a latitude e altitude*, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **25**, 561-568 (2008).

APÊNDICE

O Quadro 2 apresenta as especificações técnicas do aplicativo *Phyphox*.

QUADRO 2: Especificações do aplicativo *Phyphox*. Fonte: Página do desenvolvedor.

Nome	<i>Phyphox</i>
Categoria	Aquisição de dados
Tema a ser trabalhado	Vários, dependendo do sensor usado
Plataforma	Android e iOS
Sensor utilizado	Todos os sensores internos do <i>smartphone</i>
Opção de armazenamento	Sim
Opção de exportação	Sim
Custo	Nenhum
Serviço	Muito bom
Idioma	Alemão e Inglês, sendo que está aberto para ser traduzido para outros idiomas
Página inicial do desenvolvedor	http://Phyphox.org
Baixar	http://Phyphox.org/download