

Arduino como Recurso Educacional Aberto: Construção de Experimentos Acessíveis para o Estudo de Movimento e Gravidade

Lucas Eduardo de Siqueira¹, Everton Bedin², Vinícius Fernando de Lima³

Resumo

Este trabalho aborda a integração do Arduino como Recurso Educacional Aberto (REA) nas aulas de Física, visando proporcionar uma educação tecnológica e inclusiva. A metodologia envolve a construção de um aparato experimental acessível e de baixo custo, baseado em materiais reciclados para explorar conceitos de queda livre e plano inclinado, seguindo a trajetória proposta por Galileu Galilei. Sensores conectados ao Arduino registram o tempo do movimento da esfera, cujos resultados são exibidos em um *display LCD* e enviados para um aplicativo de celular via Bluetooth. A proposta é dividida em duas etapas: plano inclinado e queda livre. Os resultados obtidos para a aceleração da gravidade em Curitiba apresentaram um erro de 1,23% em relação à literatura. Conclui-se que o Arduino, por sua versatilidade e baixo custo, revela-se eficaz na construção de experimentos de Física, contribuindo para uma abordagem mais inclusiva e acessível no ensino dessa disciplina.

Palavras-chave: Arduino; Ensino de Física; proposta didática tecnológica.

Recebido em: 05/11/2023; Aceito em: 21/12/2023

<https://doi.org/10.5335/rbecm.v6i2.15520>

ISSN: 2595-7376

¹ Doutorando em Educação em Ciências e em Matemática. Universidade Federal do Paraná. lucas.edspf@gmail.com

² Doutor em Educação em Ciências: química da vida e saúde. Universidade Federal do Paraná. bedin.everton@gmail.com

³ Mestrando em Educação em Ciências e em Matemática. Universidade Federal do Paraná. vinicius.fernando3998@gmail.com

Introdução

A presença das tecnologias ao longo da história e na vida humana é notória, adaptando-se às necessidades de cada época (BEDIN; DEL PINO, 2017). Nesse contexto, percebe-se que a aplicação do conhecimento resulta na criação de diversos elementos, como equipamentos, instrumentos, recursos, produtos, processos e ferramentas, formando o conceito abrangente de tecnologia (KENSKI, 2007). Essa evolução tecnológica não se restringe apenas à produção de objetos físicos, mas também influencia a cultura e o comportamento individual na sociedade. Afinal, no ambiente escolar, onde diferentes abordagens educacionais coexistem, há a necessidade de ensinar descobertas de maneiras inovadoras.

Kenski (2007) destaca que inovações e tecnologias devem integrar todo o processo pedagógico, desde o planejamento das disciplinas até a elaboração da proposta curricular, impactando a organização do ensino. A inserção de tecnologias transforma o ambiente escolar, buscando atender aos aspectos de interação e aprendizado entre todos os envolvidos. Logo, as tecnologias educacionais e os recursos associados, como materiais e equipamentos didáticos, não devem ser apenas adicionados, mas integrados ao currículo, sendo que a falta de contextualização e de participação ao longo do processo, comprometem o potencial curricular e pedagógico de cada tecnologia (SILVA, 2001; BEDIN, 2017a).

As mudanças nas metodologias de ensino e no ambiente escolar, impulsionadas pelas Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC), refletem-se nas orientações educacionais brasileiras, como a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Essas discussões abrangem aspectos de conteúdo, metodologia e epistemologia, visando o desenvolvimento do estudante na compreensão da evolução da ciência e da tecnologia, promovendo um conhecimento investigativo.

Portanto, é fundamental compreender o desenvolvimento histórico da tecnologia em diversos campos, observando suas implicações no cotidiano e nas relações sociais de cada época (BRASIL 2002). Essa compreensão é essencial para avaliar corretamente o desenvolvimento tecnológico atual, considerando suas vantagens e seus condicionantes (BEDIN, 2017b). Na BNCC, destaca-se a competência relacionada às tecnologias, enfatizando a utilização e criação crítica, significativa, reflexiva e ética de TDIC nas diversas práticas sociais, incluindo as escolares (BNCC, 2018).

No que se refere à competência mencionada, estudos do Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br) indicam um aumento no uso das TDIC nas escolas, promovendo a inclusão dos estudantes, embora enfrentem desafios na implementação e utilização efetiva de recursos como celulares, softwares e computadores. Ainda, dados revelam a importância das escolas públicas e das políticas de acesso às TDIC na redução da exclusão digital, sendo que, para uma parcela significativa de crianças e adolescentes brasileiros, a escola se torna uma alternativa crucial de acesso a essas tecnologias (BRASIL, 2013).

No entanto, a implementação dessas práticas no ambiente escolar é um desafio para os educadores, devido à realidade precária na formação de professores e nas escolas públicas brasileiras, muitas vezes carentes de estrutura e laboratórios adequados. Superar esses limites demanda adaptações, especialmente nas propostas experimentais de Física (ARAÚJO; ABIB, 2003), como a utilização de Recursos Educacionais Abertos (REA), como Arduino e softwares livres, bem como a busca por materiais de baixo custo. Nesse aspecto, com o objetivo de promover um ambiente de ensino mais inclusivo e tecnológico nas escolas de Educação Básica, esse artigo propõe a exposição de um protótipo experimental de baixo custo, utilizando a plataforma Arduino e o telefone celular para abordar conceitos de movimento na disciplina de Física.

Esse enfoque levanta a necessidade de aprofundar o debate sobre como incorporar essas práticas e recursos tecnológicos no ensino de Física, não apenas ilustrando ou adaptando o acesso às tecnologias educacionais, mas criando um ambiente propício nos processos de ensino e aprendizagem. Isso implica proporcionar autonomia aos indivíduos, respeitando suas diferenças e limitações no contexto escolar.

De outra forma, nesse artigo não apenas se busca disseminar o uso do Arduino no ensino de Física, mas apresentar um projeto experimental de baixo custo, integrando a plataforma a um aplicativo de celular com software dentro dos REA. Esse desenho resulta no intuito de promover a inclusão, para além da integração dos estudantes em relação ao conteúdo proposto, despertando o conhecimento científico, investigativo, crítico e tecnológico. Essa proposta visa criar um ambiente estimulante tanto para o professor quanto para o aluno na prática da sala de aula de Física, aprimorando a visão sobre o uso de recursos tecnológicos de maneira atrativa e eficaz, superando as barreiras do aprendizado e ampliando as possibilidades educacionais de forma inclusiva.

Referencial teórico

Diante da relevância de promover o acesso às TDIC no ambiente escolar, visando garantir uma educação inclusiva e de qualidade, e promovendo a disseminação da cultura digital, é evidente que o Brasil enfrenta significativos desafios, mesmo após vários anos da implementação do Programa Nacional de Tecnologia Educacional – PROINFO – (BRASIL, 1997). O relatório do Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br) destaca complexas dificuldades, que vão desde a carência de uma estrutura adequada até falhas na gestão pública. No entanto, mesmo diante desses obstáculos, diversas alternativas, especialmente aquelas de baixo custo e com códigos e estruturas livres, podem ser

empregadas para envolver os estudantes, especialmente na rede pública de ensino, impulsionando novos avanços das tecnologias no processo educacional. Nesse contexto, o Arduino, o celular e as ferramentas fornecidas pelo MIT (como o MIT App Inventor) convergem como REA, os quais os professores podem utilizar para superar os desafios relacionados à universalização do conhecimento. Essas alternativas não exigem a dependência de recursos tecnológicos significativos, muitas vezes dispendiosos, e oferecem a vantagem de permitir modificações, adaptações e redistribuição de forma gratuita.

Recursos Educacionais Abertos (REA)

Com base numa publicação da UNESCO (2008), que aborda a história dos REA, destacam-se duas iniciativas importantes em 2001, fundamentais para o surgimento e a discussão da importância do uso de REA, principalmente na educação. Essas iniciativas eram a fundação da *Creative Commons* (CC) e o Consórcio *Open Course Ware*. A CC permitia aos detentores de direitos autorais escolherem quais direitos abrir mão, possibilitando que usuários de conteúdos educacionais copiassem, adaptassem, traduzissem e compartilhassem recursos livremente (DUTRA; TAROUÇO, 2007). Os REA, conhecidos por *Open Educational Resources* (OER), foram oficialmente definidos em uma conferência da UNESCO em 2002 (Forum on the Impact of Open CourseWare for Higher Education in Developing Countries). Segundo a definição da UNESCO (2012, p. 1):

Os materiais de ensino, aprendizagem e investigação em quaisquer suportes, digitais ou outros, que se situem no domínio público ou que tenham sido divulgados sob licença aberta que permite acesso, uso, adaptação e redistribuição gratuitos por terceiros, mediante nenhuma restrição ou poucas restrições. O licenciamento aberto é construído no âmbito da estrutura existente dos direitos de propriedade intelectual, tais como se encontram definidos por convenções internacionais pertinentes, e respeita a autoria da obra.

Na conferência, diversas recomendações foram feitas para garantir a efetividade das aplicações desses recursos, principalmente no contexto escolar. Algumas delas referiram-se à facilitação do uso das TDIC, à promoção da compreensão e a utilização de estruturas com licenciamento aberto, ao apoio à criação de competências para o desenvolvimento sustentável de materiais didáticos e ao estímulo à pesquisa sobre os REA. Assim, compreende-se que no âmbito do Plano Nacional de Educação (PNE), diversas metas podem ser alcançadas de maneira mais eficaz ao adotar essas iniciativas, como: i) possibilitar um maior número de atividades extracurriculares com o uso das TDIC; ii) criar oportunidades de desenvolvimento profissional para professores por meio de atividades relacionadas ao desenvolvimento ou reuso de REA; iii) promover o aumento da participação na educação de nível superior; e, iv) inovar o sistema educacional brasileiro.

Dentro desse contexto, existem diversas atribuições e licenças distintas para tratar projetos, conteúdos, plataformas, entre outros materiais, com o objetivo de assegurar a democratização do ensino e o acesso à informação, tanto por professores quanto por alunos (DUTRA; TAROUÇO, 2007). Nesse ponto, algumas dessas licenças são exploradas para uma melhor compreensão do projeto desenvolvido e, também, para que ele possa ser utilizado e modificado livremente por qualquer pessoa. Tais licenças baseiam-se na experiência FLOSS (Free Libre and Open Source Software), ou seja, no movimento de software livre.

Licenças Livres

Open Content License (OCL) e Open Publication License (OPL): Desenvolvidas por Wiley, essas licenças de conteúdos e publicações abertas têm como objetivo possibilitar o compartilhamento de trabalhos, atendendo às necessidades acadêmicas. A *OCL* permite ao usuário final

três graus de liberdade: o direito de fazer cópias, redistribuir o conteúdo e modificar o conteúdo. A *OPL*, evolução da primeira, inclui a possibilidade de reprodução e distribuição em qualquer tipo de mídia (LIANG, 2005).

Iniciativa mais recente, a *Creative Commons* visa facilitar o uso de obras de outros, permitindo aos criadores concederem a outros a capacidade de basear-se em sua obra original de maneira fácil e segura. Ela busca garantir a criatividade, em grande parte de forma não comercial, enquanto reconhece e dá crédito ao autor original. Todos os projetos com Arduino estão disponíveis gratuitamente sob essa licença, permitindo a criação de muitas placas alternativas de custo menor (MONK, 2017).

Como o hardware do Arduino sendo aberto, a documentação das placas e projetos, incluindo diagramas esquemáticos e circuitos elétricos, está disponível na internet, permitindo que qualquer interessado construa essas placas. Esse acesso equitativo a recursos, especialmente na realidade educacional brasileira, é crucial para enfrentar os avanços tecnológicos presentes no cotidiano. Os benefícios não se restringem aos estudantes, pois os professores também têm oportunidades de desenvolvimento profissional, melhorando a qualidade do ensino em todo o processo pedagógico. Vale ressaltar que esses materiais têm um custo muito baixo, proporcionando resultados de alta qualidade e oferecendo possibilidades infinitas de futuras aplicações e modificações, incentivando o caráter investigador e reflexivo dos envolvidos.

Plataforma de Desenvolvimento Arduino e o MIT App Inventor

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto, baseada em hardware e software livres, que se destaca por sua facilidade de uso. Consiste em uma pequena placa com tecnologia de baixo custo, equipada com um microcontrolador e capacidade de conexão ao computador via USB (Universal Serial Bus). A placa possui diversos terminais que

possibilitam a conexão com dispositivos externos, permitindo tanto a recepção quanto o envio de informações (MONK, 2017). Sensores de pressão, umidade, distância, *LEDs*, alto-falantes e outros dispositivos podem ser acoplados às suas portas de entrada e saída.

O cerne da placa é o microcontrolador, comparável a um computador contido em um pequeno chip. Este microcontrolador processa, armazena e executa dados e programas. Para controlar suas ações, é necessário enviar um conjunto de instruções na linguagem de programação Arduino, baseada na Wiring e semelhante ao C/C++ amplamente utilizado. O site oficial do Arduino destaca várias vantagens dessa plataforma, especialmente ao ambiente acadêmico, incluindo: **i) Baixo custo:** Em comparação com outras plataformas de microcontroladores, o Arduino possui um preço relativamente mais acessível; **ii) Diversidade de plataformas:** A IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) do Arduino é compatível com sistemas operacionais Windows, Macintosh OSX e Linux, enquanto outras plataformas podem ser limitadas ao Windows; **iii) Ambiente de programação simples:** A IDE do Arduino é fácil de usar, sendo acessível mesmo para iniciantes sem experiência. Além disso, é flexível o suficiente para usuários avançados, permitindo a utilização de diversas técnicas e linguagens mais complexas; **iv) Software aberto:** Considerado uma ferramenta de código aberto, o Arduino permite que os usuários adicionem e modifiquem códigos livremente; e, **v) Hardware livre:** Sob licença Creative Commons, a placa pode ser reproduzida por qualquer pessoa no mundo, possibilitando a criação de versões próprias do módulo e economizando recursos financeiros.

O MIT App Inventor for Android é uma plataforma de código aberto e gratuita que permite a criação de aplicativos de maneira simples, lúdica e interativa. Inicialmente desenvolvido pela Google Education, o projeto é atualmente liderado pelo professor Hal Abelson e sua equipe no MIT

(Massachusetts Institute of Technology). O objetivo fundamental da plataforma, segundo Abelson, é democratizar o desenvolvimento de software, capacitando as pessoas para terem acesso de qualidade à tecnologia e também para criá-la (MIT, 2016).

A ferramenta de programação é baseada em duas características principais: o App Inventor Designer, que representa a parte visual, e o Blocks Editor, que representa a parte da linguagem em blocos. Essa abordagem permite que até mesmo iniciantes aprendam de forma intuitiva os conceitos de lógica, em um processo atraente e motivador. Apesar de sua abordagem amigável para iniciantes, o MIT App Inventor for Android é capaz de suportar projetos complexos, aproveitando todas as funcionalidades e potencialidades da web e dos dispositivos móveis, como interação com redes sociais, leitura de códigos de barras, interpretação de sensores e dispositivos externos, GPS, Bluetooth, entre outros.

O uso da plataforma é simples, bastando acessar o site do MIT por meio de um navegador e ter uma conta vinculada a eles, eliminando a necessidade de computadores potentes e configurações avançadas, geralmente exigidos nesse contexto.

Figura 1: Aba do *Blocks Editor* desse projeto no Mit App Inventor



Fonte: Os autores, 2023.

Recurso didático-tecnológico: Construção experimental

Com o objetivo de realizar uma experimentação sobre queda livre e plano inclinado de uma esfera, exibindo a possibilidade da construção de um recurso didático-tecnológico de baixo custo, usando equipamentos de viés tecnológico, o primeiro passo foi conceber um projeto inovador, acessível, de fácil manuseio e com baixo orçamento. Após essa etapa, buscou-se criar uma proposta didática destinada a alunos do Ensino Médio, utilizando o kit experimental produzido (Figura 2).

Figura 2: Processo de montagem do kit experimental de baixo custo



Fonte: Os autores, 2023.

A primeira fase consistiu em encontrar uma estrutura para fixar os sensores e algo que permitisse a modificação para realizar diferentes trajetórias da esfera, estudando o comportamento do movimento. Para isso, utilizou-se o fundo de um guarda-roupas (MDF fino) e aplicou-se um papel *contact* branco, possibilitando não apenas a realização das experimentações, mas anotação com caneta. As mudanças nas trajetórias podem ser realizadas com uma mangueira de jardim (transparente), com uma polegada de diâmetro, permitindo uma visualização completa do movimento a ser estudado no experimento. Após a construção da moldura

no MDF, foram feitos furos nos locais onde os sensores foram encaixados, com distâncias previamente estipuladas. Nesse momento, arruelas foram fixadas para facilitar o encaixe dos sensores, sendo presos por porcas borboletas nos parafusos fixados nos sensores.

Com a conclusão dessa etapa, foi necessário desenvolver uma estrutura mecânica para fixar o quadro de maneira descomplicada, segura e alinhada, sem inclinação. A solução encontrada foi utilizar canos de PVC comuns de água (5 metros de comprimento), com conexões do tipo cotovelo e emenda, pois, além de serem fáceis de encontrar e baratos, são simples de trabalhar, não exigindo ferramentas específicas. Para facilitar o transporte, retirada do quadro da estrutura e viragem quando necessário, a fixação foi feita através de velcros adesivos, um taco de madeira e suportes metálicos de prateleira, todos posicionados nos canos de forma estratégica para não atrapalhar a realização do experimento.

Após a conclusão da parte estrutural, foi necessário desenvolver soluções para fixar os sensores nos furos presentes no quadro e passar a mangueira cristal por dentro deles, possibilitando a leitura do sinal. Utilizando luvas de 1 polegada de PVC, foram feitas as fixações dos sensores de LED infravermelho (Figura 3). Nesse momento, também foi colado o parafuso que os prenderá ao quadro branco.

Figura 3: Sensores com os *leds* para indicação do movimento da esfera



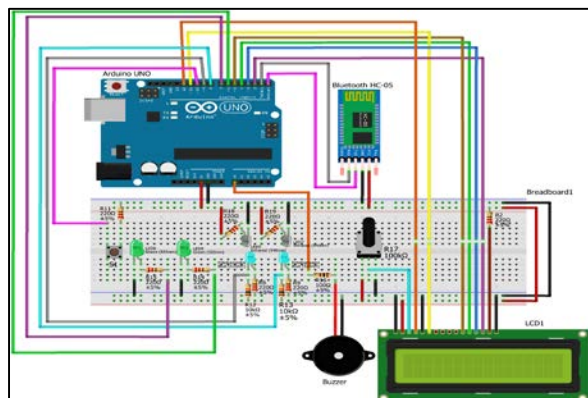
Fonte: Os autores, 2023.

Com toda a parte estrutural concluída, procedeu-se à programação em linguagem C++ simplificada para o Arduino. Em essência, seu funcionamento assemelha-se a um cronômetro, medindo o tempo que um objeto leva para passar de um sensor para o outro. Quando o objeto interrompe o feixe infravermelho no Sensor 1, ele envia um sinal positivo (5V) para a porta do Arduino à qual está conectado. Assim, dentro do programa, é possível estabelecer uma condição para iniciar a contagem do tempo quando esse sinal estiver presente e interrompê-la quando o objeto passar pelo Sensor 2, que opera de maneira similar. A função "micros" da biblioteca é utilizada para calcular os intervalos de tempo necessários para o experimento, proporcionando uma boa precisão e baixo erro.

Além de exibir os resultados em um *display LCD* de 16 segmentos, uma placa Bluetooth (HC-05) foi integrada ao projeto, permitindo o envio simultâneo dos resultados coletados para qualquer dispositivo celular. Essa abordagem oferece redundância e reduz a chance de possíveis erros durante a execução do experimento. Visando o ensino inclusivo, linhas de comando foram adicionadas à programação para acionar o *LED* correspondente (indicador luminoso) e simultaneamente ativar o *buzzer* (indicador sonoro) toda vez que a esfera passar pelo sensor. Essa abordagem ativa diferentes sentidos do corpo humano (como visão e audição), criando um ambiente propício para a autonomia dos alunos durante a experimentação, inclusive para aqueles com alguma limitação.

Para facilitar a comunicação entre a parte lógica no Arduino e a parte eletrônica externa, criou-se placas para os circuitos necessários, tornando o projeto robusto e de fácil montagem. Até então, os experimentos estavam sendo realizados em uma protoboard (Figura 4), uma placa com uma matriz de contatos que permite a construção de circuitos experimentais sem a necessidade de solda, possibilitando ajustes rápidos e seguros na posição dos componentes, bem como substituições quando necessário.

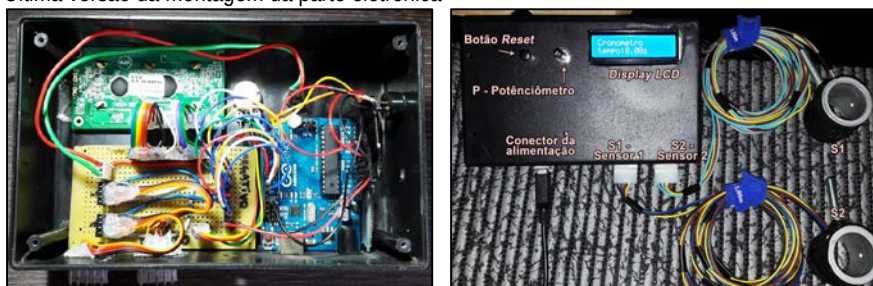
Figura 4: Esquemático do protótipo realizado na *protoboard*



Fonte: Os autores, 2023.

No que diz respeito ao celular, foi desenvolvido um aplicativo capaz de interpretar os dados enviados pelo Arduino, exibi-los de forma clara na tela do dispositivo e utilizar a função de comando de voz TTS (*Text to Speech*), presente em dispositivos Android, para "falar" os resultados pelos alto-falantes. Essa funcionalidade torna o projeto mais completo ao oferecer ampla acessibilidade à experimentação e, por consequência, inclusão. Para chegar ao ponto atual, em que os elementos são conectados e desconectados do circuito, os equipamentos foram organizados dentro de uma caixa plástica (Figura 5). Essa abordagem foi pensada para tornar o sistema mais didático e de fácil acesso. Caso ocorram problemas futuros, basta substituir os componentes de maneira prática e eficiente.

Figura 5: Última versão da montagem da parte eletrônica



Fonte: Os autores, 2023.

A abordagem de incorporar um aplicativo para leitura dos resultados e o uso dos comandos de voz do Google no projeto não apenas agregou valor ao experimento, mas também o tornou mais acessível e inclusivo, visto que a complexidade muitas vezes associada à criação de experimentos inclusivos pode ser significativamente reduzida com o uso de tecnologias simples, como o Arduino e smartphones. A decisão de utilizar o celular como ferramenta de ensino foi especialmente relevante, pois os dispositivos móveis são cada vez mais comuns e familiares aos alunos; logo, a integração de comandos de voz adicionou uma dimensão interativa ao experimento, proporcionando uma experiência mais rica e envolvente para os alunos.

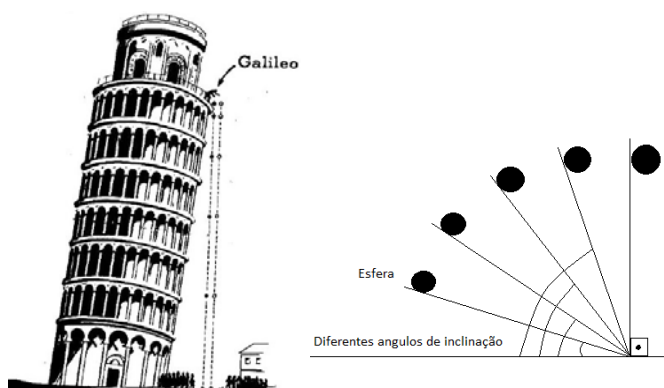
A simplificação na resolução de problemas e a ênfase na utilização de materiais de baixo custo e de fácil acesso são princípios fundamentais na promoção da inclusão. Isso não apenas tornou o experimento mais viável em diferentes contextos educacionais, como também incentivou a criatividade na adaptação e na criação de soluções acessíveis. A combinação de tecnologia, simplicidade e foco na inclusão destaca a importância de abordagens inovadoras no campo da educação, visando tornar o aprendizado mais acessível a todos os estudantes, independentemente de suas habilidades ou limitações. O projeto apresentado serve como exemplo de como a tecnologia pode ser aproveitada de maneira eficaz para promover a inclusão no ensino de ciências.

Proposta didática e experimental

Ela tem como objetivo explorar a evolução da compreensão científica sobre o movimento, destacando o papel crucial desempenhado por Galileu Galilei nesse processo. O enfoque nas controvérsias, debates e erros ao

longo da história da ciência é fundamental para transmitir aos alunos a natureza dinâmica e não linear da construção do conhecimento científico. A história de Galileu e sua contribuição para a compreensão do movimento, especialmente através da famosa experiência imaginária na Torre de Pisa (Figura 6), é uma oportunidade valiosa para introduzir conceitos fundamentais, como a queda livre e a aceleração uniforme. Ao abordar as limitações tecnológicas da época e a necessidade de métodos inovadores, os alunos podem apreciar a importância da experimentação e da formulação de hipóteses para avançar na ciência.

Figura 6: A experiência da torre de Pisa e a hipótese de Galileu para o estudo do movimento de queda livre de uma esfera através de um plano inclinado



Fonte: Os autores. 2023 a partir de imagens da internet (http://penta3.ufrgs.br/fisica/QuedaCorpos/experincia_de_galileu.html).

A proposta de replicar a experiência de Galileu utilizando uma rampa (plano inclinado) é uma estratégia eficaz para tornar o conceito mais acessível e concreto para os alunos. Além disso, a introdução de um kit experimental, como o apresentado anteriormente, oferece uma oportunidade prática para os alunos explorarem o movimento, medirem o tempo e aplicarem conceitos matemáticos. A conexão com o projeto prático, utilizando o Arduino, a rampa e a experiência de queda livre, proporciona uma abordagem multidisciplinar que integra conceitos de física, matemática e tecnologia. A ênfase na experimentação, na

observação e na análise crítica dos resultados, contribui para o desenvolvimento das habilidades científicas dos alunos. Além disso, a contextualização histórica e a narrativa envolvente tornam a proposta didática mais atrativa e relevante para os alunos. Isso pode estimular o interesse deles pela história da ciência e mostrar como os avanços científicos moldam a compreensão do mundo ao longo do tempo.

Galileu Galilei descobriu que, ao variar o ângulo do plano inclinado, o quociente da distância percorrida pelo quadrado do tempo (d/t^2) permanecia constante. Isso significa que, para qualquer ângulo escolhido, a relação entre a distância percorrida pela esfera e o quadrado do tempo era sempre a mesma. Essa constância do quociente indicava que o movimento da esfera ao longo do plano inclinado era uniformemente acelerado (KOYRÉ, 1992). Ao variar o ângulo para 90° , tornando o plano inclinado vertical (uma situação equivalente à queda livre), Galileu observou que o quociente d/t^2 continuava constante, embora não tenha determinado o valor dessa constante na unidade que se reconhece como aceleração, devido à gravidade. Todavia, Galileu conseguiu estabelecer a ideia fundamental de que a aceleração da esfera em queda livre é constante (KOYRÉ, 1992). Essa descoberta é um marco importante na compreensão do movimento, pois foi a primeira vez que se reconheceu a uniformidade da aceleração na queda livre. Posteriormente, o trabalho de outros cientistas, como Isaac Newton, refinou e expandiu esses conceitos, levando ao desenvolvimento das leis do movimento e da gravidade.

Com toda a parte teórica e histórica já explorada, pode-se realizar as mesmas experimentações que Galileu fez, utilizando os conhecimentos e as tecnologias contemporâneas. Para tanto, primeiramente, foi necessário assimilar o experimento histórico com o projeto experimental desenvolvido. O experimento consistiu em coletar medidas de um intervalo de tempo em segundos por meio de dois sensores (um no início do movimento e outro

no fim), os quais estão conectados ao Arduino e ao aplicativo de celular via Bluetooth.

A coleta de dados ocorreu quando a esfera passou pelo Sensor 1 (S1), interrompendo o feixe infravermelho entre o fotodiodo e o fototransistor. Esse evento enviou um sinal alto (5V) para o Arduino, que iniciou o cronômetro interno, sendo interrompido quando a esfera passou pelo Sensor 2 (S2). Os resultados foram exibidos tanto no display LCD quanto no dispositivo celular, de forma visual e sonora. Além disso, cada sensor possui um LED indicador, que se acendeu quando a esfera passou por ele, e um apito foi produzido por um buzzer dentro da caixa de controle, tornando o processo mais inclusivo e acessível. É possível ajustar as distâncias entre os sensores e explorar diferentes formas de montagem.

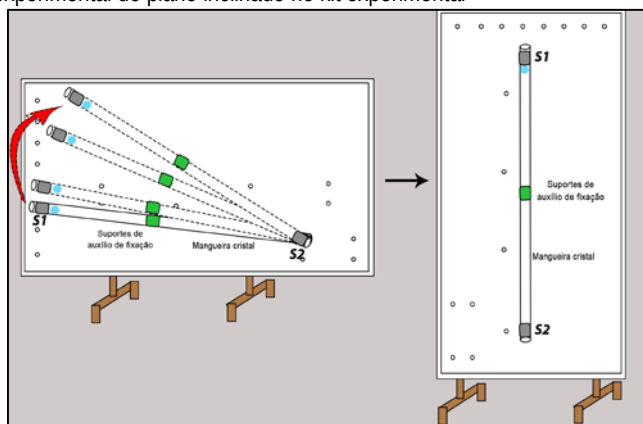
Para a realização completa do projeto proposto, o experimento foi dividido em duas etapas distintas:

1ª Etapa – Plano inclinado: Foi escolhida uma distância entre os sensores e fixada à mangueira cristal do experimento, prendendo-os aos furos já existentes no quadro branco por meio de uma porca borboleta, conforme ilustrado na Figura 7. Após, foi realizado o estudo do movimento em um plano inclinado para diferentes ângulos, fixando, na sequência, a distância entre os sensores sem alterá-la. Foi coletado os tempos de movimento ao soltar uma bola de gude entre os sensores S1 e S2 para diferentes ângulos de inclinação. A escolha dos ângulos ficou a critério dos estudantes, sendo importante apenas variar pequenos ângulos (diferentes de 0°) e finalizar com o ângulo de 90°. Foi realizado, no mínimo, quatro escolhas de ângulos diferentes. Quando atingido ângulos grandes em que não era possível mais fixar os sensores com o quadro branco na horizontal, foi despreendido do suporte de PVC, virado na vertical e fixado novamente por meio das fitas velcro presentes atrás.

2ª etapa – Queda livre: Após realizar o movimento de queda livre

proposto na 1ª etapa, foi necessário entender a aceleração da gravidade e como ela atua na esfera para realizar seu movimento. Além disso, foram exploradas as equações que descrevem o movimento, tanto na concepção de Galileu quanto na Mecânica Clássica. Abstraindo todos os conceitos físicos, o objetivo foi estimar o valor do módulo dessa aceleração gravitacional e compará-lo com as informações disponíveis na literatura, considerando a região de Curitiba-PR, onde o experimento foi realizado.

Figura 7: Montagem experimental do plano inclinado no kit experimental



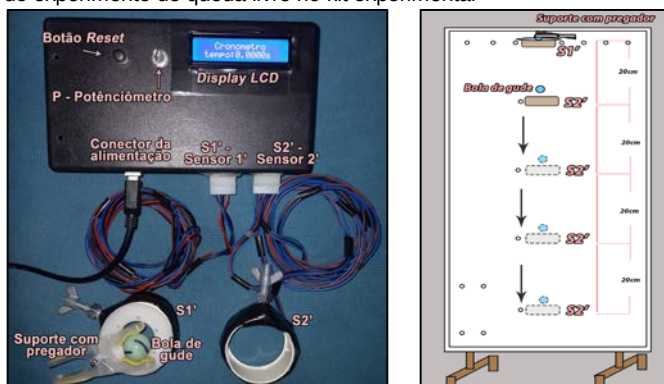
Fonte: Os autores, 2023.

A montagem no quadro branco foi feita com ele na posição vertical em relação ao suporte de PVC. Nesse passo, diversos furos no eixo das alturas foram disponíveis para a fixação dos sensores, igualmente espaçados a 20 cm um do outro. Conectado o sensor S1 no primeiro furo de cima para baixo disponível no eixo, e o sensor S2 no furo imediatamente abaixo, foi pressionado o botão de reset e posicionada a bola de gude no suporte com o pregador, colocando-o na parte de cima do sensor S1.

Para medir os intervalos de tempo, seguiu-se a mesma lógica do experimento da etapa 1. Com isso, soltou-se a esfera do pregador conforme a Figura 8, que inicialmente estava em repouso no S1, para realizar o movimento de queda livre até passar pelo S2. Anotados os resultados dos

intervalos de tempo em uma tabela, repetiu-se o procedimento pelo menos 5 vezes para cada altura e, em seguida, calculou-se a média dos valores do tempo. Após, foi realizado o mesmo procedimento para as demais alturas, trocando o sensor S2 de posição nos furos abaixo restantes.

Figura 8: Montagem do experimento de queda livre no kit experimental



Fonte: Os autores. 2023.

Para uma melhor análise, dispõe-se os dados dos intervalos de tempo medidos com o Arduino para suas respectivas alturas na Tabela 1. Sendo, assim, possível plotar um gráfico do movimento e realizar seu estudo.

Tabela 1: Dados da posição (H) em função do intervalo de tempo

Altura - H (m)	Tempo - t (s)	Média dos tempos - $\bar{t}$ (s)	Média dos tempos ao quadrado - $\bar{t}^2$ (s ²)
0,20	0,2034	0,20142	0,0405
	0,1988		
	0,1955		
	0,2022		
	0,2072		
0,40	0,2875	0,28918	0,0836
	0,2987		
	0,2963		
	0,2855		
	0,2779		
0,60	0,3526	0,35632	0,1269
	0,3593		
	0,3441		
	0,3657		
	0,3599		
0,80	0,4065	0,40486	0,1639

0,4051
0,3988
0,4087
0,4052

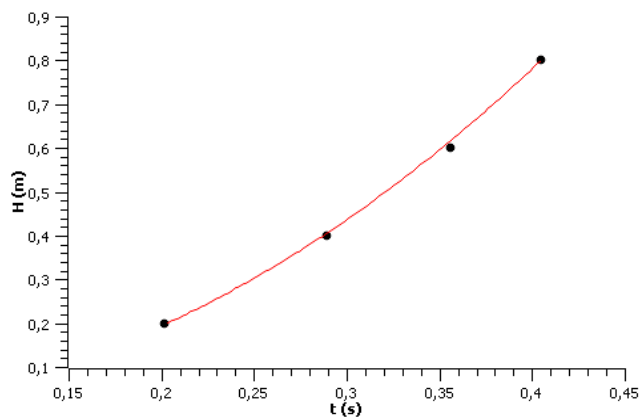
Fonte: Os autores. 2023.

Com base na equação de queda livre, admitindo que a esfera partiu do repouso, a velocidade inicial igual a zero, e desprezando a resistência do ar, pode-se chegar na seguinte expressão:

$$H = \frac{gt^2}{2}$$

Pode-se, agora, construir o primeiro gráfico para verificar se os pontos crescem com o tempo ao quadrado, fazendo uma curva suave.

Figura 9: Gráfico da altura (H) pelo tempo médio (t)



Fonte: Os autores. 2023.

Para realizar uma análise quantitativa utilizando o gráfico, precisou-se primeiramente linearizar ele, para chegar numa expressão comparável a equação da reta. A estratégia mais simples foi realizar uma troca de variável com relação ao elemento tempo. Adotando: $t^2 = t'$

Reescrevendo equação da queda livre como sendo:

$$H = \frac{g}{2} t'$$

Da equação da reta:

$$y = ax + b$$

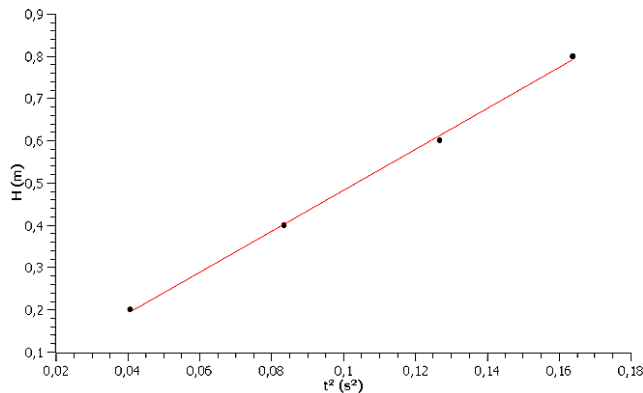
sendo $H \rightarrow y$ e $t' \rightarrow x$

Logo, o coeficiente angular (a):

$$a = \frac{g}{2}$$

Na sequência, apenas plotou-se um novo gráfico, agora linearizado, com os tempos já elevados ao quadrado presentes na Tabela 1 e discutidos com a mudança de variável.

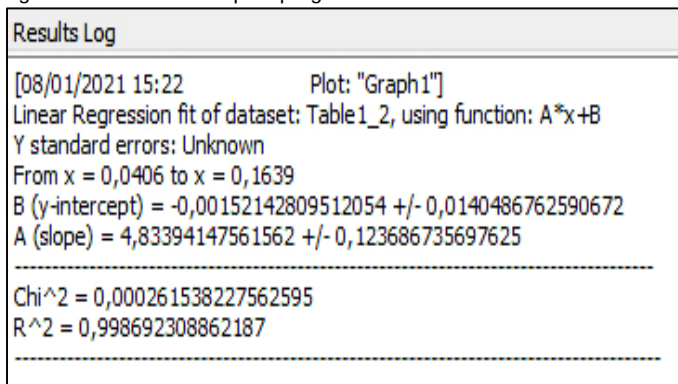
Figura 10: Gráfico da altura (H) pelo tempo médio elevado ao quadrado (t^2)



Fonte: Os autores. 2023.

No próprio programa Scidavis, quando aplicada a linha de tendência linear, já são fornecidos os valores dos coeficientes angular (a) e linear (b), que vão permitir descobrir, por exemplo, qual é o valor da aceleração da gravidade no local onde foi realizado o experimento, nesse caso, em Curitiba- PR.

Figura 11: Logs da regressão linear obtidas pelo programa SciDAVAis



Fonte: Os autores. 2023, via programa SciDAVis.

Do coeficiente angular e isolando o termo da gravidade (g), tem-se que:

$$g = 2a$$

Com o resultado obtido para o coeficiente angular (a), pode-se finalmente determinar o valor do módulo da aceleração da gravidade, multiplicando-o por dois:

$$g = 2 \cdot 4,8334 \text{ m/s}^2$$

$$g = 9,6668 \text{ m/s}^2$$

Comparando esse resultado com o que se encontra na literatura, que é de aproximadamente $g = 9,79 \text{ m/s}^2$, tem-se um erro percentual de:

$$\delta = \frac{|g_{\text{literatura}} - g_{\text{medido}}| \text{ m/s}^2}{g_{\text{literatura}} \text{ m/s}^2} \times 100\%$$

$$\delta = \frac{|9,79 - 9,67| \text{ m/s}^2}{9,79 \text{ m/s}^2} \times 100\%$$

$$\delta = 1,23\%$$

Quanto ao coeficiente linear (b), idealmente, deveria ser zero; no entanto, devido a vários fatores que influenciam na coleta dos dados, há a introdução de um erro experimental. Destacam-se a liberação manual da esfera do repouso, gerando uma pequena velocidade inicial não considerada, a resistência do ar, a possível angulação do aparato experimental e os erros operacionais nos equipamentos de aferição, neste caso, o Arduino. Apesar desses elementos, foi possível obter um erro relativamente baixo em comparação com o valor da literatura, destacando o grande potencial e a confiabilidade do projeto. É importante notar que os pesquisadores foram responsáveis pelas experimentações, coleta de dados e análises, realizadas em um ambiente tranquilo e sem limitação de tempo. Na realidade escolar, quando conduzido pelos estudantes, é provável que haja um erro percentual mais elevado, uma vez que eles podem não ter familiaridade com todos esses elementos experimentais. No entanto, essas variações podem ser facilmente justificadas.

Ademais, destaca-se que esse texto revela a importância do Arduino como um REA na promoção de uma educação tecnológica e inclusiva nas aulas de Física. A utilização dessa plataforma de baixo custo permitiu a construção de experimentos acessíveis, baseados em materiais reciclados, para explorar conceitos fundamentais como queda livre e plano inclinado. O texto ressalta a versatilidade do Arduino, sua capacidade de integrar sensores e a comunicação com dispositivos móveis via Bluetooth, enfatizando a possibilidade de compartilhamento, adaptação e utilização livre do material produzido, contribuindo para a disseminação de práticas educacionais inclusivas. A análise dos resultados experimentais demonstrou a eficiência do Arduino na construção de experimentos de Física, mesmo em um ambiente de baixo custo, destacando sua relevância como ferramenta pedagógica na promoção de uma educação mais acessível e tecnologicamente avançada.

Considerações finais

Diante do crescente número de discussões e políticas públicas para garantir aos estudantes um amplo acesso à educação cada vez mais tecnológica, torna-se imprescindível repensar o conhecimento necessário para que os educadores possam atender a essa necessidade de forma inclusiva. O Arduino, inserido nas TDIC, pode ser considerado um REA, uma vez que possui software e hardware livres. Além disso, diversos outros recursos com os mesmos princípios podem ser usados em projetos semelhantes. Todo o material produzido neste trabalho é baseado no conceito de REA, permitindo seu uso livre, adaptação, cópia, análise, modificação e distribuição a qualquer usuário interessado, a qualquer momento. Essa abordagem visa atender, mesmo que de forma modesta, à demanda existente no cenário educacional brasileiro, proporcionando alternativas de baixo custo, acessíveis e inclusivas no contexto do uso de tecnologias no ensino de Física.

Quanto à construção do aparato experimental, tornou-se difícil mensurar o valor gasto, uma vez que a maioria dos recursos utilizados é de origem reciclável, como o fundo de guarda-roupas, mangueira de jardim, tubulações antigas de água, componentes e fios de produtos eletrônicos estragados, pregadores de roupas, entre outros. Basicamente, o custo foi relacionado ao Arduino-UNO, *Shield de Bluetooth*, *Display de LCD*, parafusos, porcas e a moldura para o quadro branco (cerca de 100 reais). Isso destaca a grande potencialidade dessa plataforma e sua funcionalidade para diversas aplicações e situações futuras, sem restrições de acesso, construção e modificação, como ocorre com kits educacionais comerciais presentes em algumas escolas. Vale ressaltar que muitas escolas nem possuem laboratórios com equipamentos para a realização de experimentos de Física, sendo mais crucial a implementação

e o conhecimento sobre o uso do Arduino nessa realidade.

Quanto à aquisição de dados, os resultados obtidos para a aceleração da gravidade de Curitiba-PR foram satisfatórios, tanto na proposta de aplicação quando para o Ensino Médio. O erro encontrado foi de 1,23% em relação ao valor do módulo da aceleração da gravidade presente na literatura. Esse erro pode ser explicado por imprecisões experimentais e pela influência do atrito do ar com a esfera durante o movimento, mesmo sendo uma influência pequena devido à baixa altitude. Considerando que os métodos e a construção foram simples e baratos, tem-se a comprovação da eficiência e confiabilidade do uso da plataforma Arduino na construção de experimentos de Física.

Arduino as an Open Educational Resource: Building Accessible Experiments for the Study of Motion and Gravity

Abstract

This work addresses the integration of Arduino as an Open Educational Resource (OER) in Physics classes, aiming to provide technological and inclusive education. The methodology involves constructing an accessible and low-cost experimental apparatus based on recycled materials to explore concepts of free fall and inclined plane, following the trajectory proposed by Galileo Galilei. Sensors connected to Arduino record the time of the sphere's motion, and the results are displayed on an LCD and sent to a mobile application via Bluetooth. The proposal is divided into two stages: inclined plane and free fall. The results for the gravity acceleration in Curitiba showed an error of 1.23% compared to the literature. It is concluded that Arduino, due to its versatility and low cost, proves to be effective in building Physics experiments, contributing to a more inclusive and accessible approach to teaching this subject.

Keywords: Arduino; Physics Education; technological didactic proposal.

Referências

ARAÚJO, M. S. T. de; ABIB, M. L. V. dos S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 176-194, jun. 2003.

BEDIN, E. Aprendizagem colaborativa, troca de saberes e redes sociais:

triade na educação básica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 2, p. 1-17, 2017a.

BEDIN, E. O uso das tecnologias como processo cooperativo: uma avaliação docente-discente nas redes sociais. **Revista Areté|Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, [S.l.], v. 10, n. 22, p. 166-178, 2017b.

BEDIN, E.; DEL PINO, J. C. Aprendizagem Colaborativa e interações nas redes sociais: qualificação da educação básica. **Revista Areté| Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, v. 8, n. 17, p. 187-201, 2017.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto (MEC). Portaria nº 522, de 09 de abril de 1997. **Criação do Programa Nacional de Informática na Educação – ProInfo**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 abr. 1997.

BRASIL. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais** – PCN+. Ministério da Educação: Brasília, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Conselho Nacional da Educação. Câmara Nacional de Educação Básica. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica**. Brasília, 2013.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Ensino Médio. Brasília: MEC. Versão entregue ao CNE em 03 de abril de 2018.

BRASIL. Pesquisa sobre o uso das Tecnologias de Informação e Comunicação nas escolas brasileiras. **Comitê Gestor da Internet no Brasil**. (CGI).

DUTRA, S. L. R.; TAROUÇO, R. M. L. Recursos Educacionais Abertos (Open Educational Resources). **RENOTE**, v. 5, n. 1, p. 1-8, 2007.

GOMES, T. C. S; MELO, J. C. B. App Inventor for Android: Uma possibilidade para o Ensino de Lógica de Programação. **Anais dos workshops do II Congresso Brasileiro de Informática na Educação**. 2013.

KENSKI, V. M. **Educação e Tecnologias: o novo ritmo da informação**. 2. ed. Campinas: Papirus, 2007.

KOYRÉ, A. **Estudos Galilaicos**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1992.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **MIT's OpenCourseWare**.

MONK, S. **Programação com Arduino: começando com sketches**. Tradução: Anatólio Laschuk. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

SILVA, B. A tecnologia é uma estratégia. In DIAS, P.; FREITAS, V. (org.)

Actas da II Conferência Internacional Desafios. Braga: Centro de Competência da Universidade do Minho do Projecto Nónio, p. 839-859, 2001.

SILVA, A. C.; KIRCHOF, E. R. Representações da educação aberta no facebook: uma análise a partir dos estudos culturais. **Revista Práxis**, v. 2, p. 66-80, 2016.

UNESCO. **Padrões de competências em TIC para professores - diretrizes de implementação.** Organização das Nações Unidas para a Educação, para Ciência e para a Cultura. (UNESCO), 2008.

UNESCO. **Declaração REA de Paris em 2012.** Paris, mar. 2012.