

# Análise da transmissão de uma bicicleta a partir de um smartphone: uma proposta didática para o ensino de física



ISSN 1870-9095

Cassiana Hygino Barreto Machado<sup>1</sup>, Milton Baptista Filho<sup>2</sup>

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Núcleo de Pesquisa em Física e Ensino de Ciências, Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil.*

**E-mail:** cassiana.h.machado@iff.edu.br

(Received 14 September 2023, accepted 22 February 2024)

## Resumo

Este trabalho apresenta uma atividade didática que foi aplicada a um grupo de professores de uma rede municipal de ensino em curso de atualização no primeiro semestre de 2023. A proposta visa difundir o uso do smartphone como recurso importante na realização de experimentação em sala de aula. Ela utiliza o método de estudo de caso que trata da temática do transporte urbano e da função das bicicletas como modal individual de transporte. A bicicleta é um meio de transporte significativo e um esporte popular e ao mesmo tempo um esporte que no nível profissional envolve muita tecnologia e precisão. O ciclismo é um esporte que traz uma aplicação importante do movimento circular e trata de um caso interessante de aplicação abordado em cursos de física do ensino médio e nos cursos de licenciatura. A atividade prática experimental proposta neste trabalho, um smartphone é utilizado para medir a relação de transmissão de uma bicicleta a partir do campo magnético de um ímã preso à roda traseira. O sinal do campo magnético observado para cada relação de transmissão proposta foi analisado a partir de uma função periódica e esta função aplicada à Séries de Fourier. Os resultados mostraram que o smartphone foi capaz de medir com precisão as relações esperadas da bicicleta e ressaltam a relevância do uso dos sensores de um smartphone em conjunto com o Phyphox como um meio importante para coletar dados e obter respostas gráficas em práticas de física, permitindo uma compreensão mais aprofundada dos princípios físicos envolvidos e enriquecendo o ensino e a pesquisa nessa área. A proposta didática apresentada, aliando o método de estudo de caso a uma prática experimental pode contribuir significativamente para a formação docente e o ensino de física em escolas de ensino médio desprovidas de laboratórios devidamente equipados, oferecendo uma experiência de aprendizado mais interativa e significativa.

**Palavras-chave:** Frequência; Série de Fourier; Smartphone; Magnetômetro; Ciclismo.

## Abstract

This work presents a didactic activity that was applied to a group of teachers from a municipal education network undergoing an update course in the first half of 2023. The proposal aims to spread the use of smartphones as an important resource in carrying out experimentation in the classroom. It uses the case study method that deals with the theme of urban transport and the role of bicycles as an individual mode of transport. Bicycling is a significant means of transport and a popular sport and at the same time a sport that at the professional level involves a lot of technology and precision. Cycling is a sport that brings an important application of circular movement and is an interesting application case covered in high school physics courses and undergraduate courses. In the practical experimental activity proposed in this work, a smartphone is used to measure the gear ratio of a bicycle based on the magnetic field of a magnet attached to the rear wheel. The magnetic field signal applied to each proposed transmission ratio was applied from a periodic function and this function applied to the Fourier Series. The results showed that the smartphone was able to accurately measure the expected relationships of the bicycle and highlight the relevance of using a smartphone's sensors in conjunction with Phyphox as an important means of collecting data and obtaining graphical responses in physics practices, allowing a deeper understanding of the physical principles involved and enriching teaching and research in this area. The didactic proposal presented, combining the case study method with experimental practice, can significantly contribute to teacher training and physics teaching in high schools without properly equipped laboratories, offering a more interactive and meaningful learning experience.

**Keywords:** Frequency; Fourier series; Smartphone; Magnetometer; Cycling.

## I. INTRODUÇÃO

O ensino de física atualmente é predominantemente centrado no docente e na memorização de conteúdos desatualizados,

em grande parte oriundos do século XIX. O modelo seguido é narrativo, onde o professor transmite a matéria de forma unilateral, depositando o conhecimento na mente do estudante [1]. Em contrapartida, o próprio autor argumenta que o ensino

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0126-4169>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4035-436X>

de física deveria ser centrado no aluno, enfatizando o desenvolvimento de competências científicas e utilizando tecnologias digitais, como os laboratórios virtuais, para promover uma aprendizagem mais interativa e eficaz. Diante desse contexto, muitos professores têm procurado se reinventar e adaptar suas aulas aos recursos disponíveis em sala de aula. Uma proposta interessante é o uso de aplicativos em smartphones para a realização de simulações de experimentos de Física. A proliferação de tecnologias móveis é um fenômeno amplamente observado em todo o mundo. Com a crescente disponibilidade de smartphones a preços acessíveis, o uso de aplicativos têm se expandido em várias esferas da vida, abrangendo comunicação, viagens, entretenimento, produtividade e aprendizado. Dentre as diversas áreas impactadas, a educação tem sido uma das principais beneficiárias, com várias iniciativas sendo lançadas para explorar o potencial das tecnologias móveis e aplicativos para fins educacionais [2].

A pesquisa realizada em 2018 pelo Centro de Estudos sobre as Tecnologias da Informação e da Comunicação [3] revelou dados impactantes sobre a inserção de dispositivos eletrônicos no Brasil. De acordo com o estudo, 42% dos domicílios brasileiros possuem computadores, enquanto 93% possuem celulares. No contexto educacional, em escolas urbanas, 47% dos alunos do ensino básico utilizam computadores portáteis e 45% utilizam computadores de mesa para acessar a internet. Entretanto, a grande maioria, 97% dos estudantes, utiliza smartphones para esse fim, sendo que 81% já os utilizaram para atividades escolares. Esses dados destacam o papel fundamental dos smartphones na democratização do acesso à informação, visto que, para muitos estudantes, esses dispositivos são os únicos meios disponíveis para conexão com a internet.

A atividade experimental é considerada uma peça fundamental no aprendizado de Física. No entanto, poucas escolas de ensino médio possuem um laboratório de Física. Além da falta de estrutura, a implementação de atividades práticas enfrenta o desafio da falta de carga horária para os professores planejarem e executarem experimentos em sala de aula. O processo experimental requer estudos e testes para ser realizado de acordo com a proposta curricular. É necessário, ainda, adaptar o processo avaliativo para garantir a participação e um bom desempenho dos estudantes. No que se refere ao ensino de física, de acordo com [4], os smartphones se tornaram amplamente difundidos entre estudantes do Ensino Médio e universitários, e esses dispositivos portáteis se mostraram aliados valiosos para professores em salas de aula e laboratórios de Física, especialmente quando o objetivo é realizar e analisar dados experimentais. Equipados com uma variedade de sensores, o smartphone oferece uma ferramenta familiar que pode desempenhar muitas das funções de equipamentos de laboratório específicos, como acelerômetros, luxímetros, fotogates, magnetômetros e decibelímetros, resultando em surpreendente eficácia e versatilidade.

Diante disso, os smartphones têm sido amplamente empregados no estudo de diversos conceitos no ensino de física. Entre esses conceitos, destaca-se o movimento circular, que desempenha um papel crucial em várias disciplinas científicas e está presente em diversos fenômenos do nosso

cotidiano, como, por exemplo, no funcionamento das bicicletas. Dentre os conteúdos de física presentes no currículo do Ensino Médio, o estudo do movimento circular uniforme é um tema indispensável para a compreensão de diversos fenômenos e equipamentos do dia a dia do aluno. Esse assunto deve ser abordado na disciplina de física conforme as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular [5]. A bicicleta, além de ser um meio de transporte considerado ecologicamente verde, é também um esporte popular em várias disciplinas, como o ciclismo de estrada, downhill e mountain bike [6]. Nesse contexto, as transmissões mecânicas desempenham um papel crucial no funcionamento eficiente das bicicletas, permitindo que a energia gerada pelo ciclista seja transferida para as rodas e, consequentemente, proporcione o movimento desejado. O estudo das transmissões mecânicas vai além do âmbito das bicicletas, sendo amplamente aplicado em inúmeras máquinas e mecanismos, desde motores até relógios analógicos.

Considerando a importância do movimento circular e das transmissões mecânicas no estudo da física, este trabalho busca responder a seguinte questão de pesquisa: Como elaborar uma proposta didática para o estudo de movimento circular voltada à atualização docente ou em nível médio com uso de uma prática experimental utilizando um smartphone? Na tentativa de responder à questão de pesquisa proposta, este trabalho descreve uma proposta didática que alia o método de estudo de caso e emprega um smartphone em conjunto com o aplicativo Phyphox para efetuar a medição em tempo real do movimento da transmissão de bicicletas a partir do sinal de dois sensores do aparelho simultaneamente com o objetivo de enriquecer a compreensão dos princípios físicos envolvidos na transmissão de uma bicicleta.

## **II. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **A. As práticas experimentais e o smartphone**

As práticas de laboratório desempenham um papel fundamental no processo de aprendizagem, pois permitem que os estudantes conectem a teoria com o mundo real [7]. Essas atividades são especialmente relevantes, pois proporcionam aos estudantes o desenvolvimento de habilidades técnicas ao manipularem equipamentos e instrumentos, incentivando o pensamento investigativo e o desenvolvimento de habilidades analíticas. Como resultado, as atividades práticas laboratoriais assumem uma relevância pedagógica ao contribuírem com o aprendizado significativo para os alunos [8].

Entretanto, existem muitas dificuldades nas escolas em relação ao uso de laboratórios de física. De acordo com [9] são inúmeros os obstáculos, dentre eles o péssimo estado de conservação dos laboratórios, a falta de controle adequado dos materiais e de acomodações suficientes para todos os alunos. Outra dificuldade para a implementação de experimentações no contexto escolar é a falta de tempo, a escassez de profissionais qualificados na área, a carência de recursos tecnológicos e um currículo desatualizado e descontextualizado [10]. Além disso, [11] ressaltam que a execução de experimentos deve ser feita de maneira adequada

para evitar equívocos que possam levar a conclusões inadequadas.

De acordo com [8], atualmente os laboratórios tem incorporado diversas práticas educativas com base em meios tecnológicos, o que elimina a necessidade de dispor de instrumentos e materiais frequentemente inacessíveis aos alunos. Segundo [12], existem diversas tecnologias disponíveis que podem ser incorporadas as práticas laboratoriais, como smartphones, tablets e mini alto-falantes Bluetooth, os quais podem ser utilizados no estudo de diferentes fenômenos físicos [13]. Com o auxílio de ferramentas computacionais, como softwares, applets, aplicações e simulações disponíveis na internet, é possível medir as variáveis físicas relevantes.

Nesse sentido, as tecnologias são consideradas uma alternativa eficaz no processo de transposição didática. Elas estão cada vez mais presentes em nosso cotidiano, e seu uso na educação pode ser uma ferramenta importante para promover a aprendizagem. A BNCC ratifica a relevância das tecnologias na educação em sua competência geral:

*“Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva. (Brasil, 2018, p. 9).”*

O uso de TICs como smartphones, tem permitido um leque de novas possibilidades para os processos de ensino-aprendizagem através da utilização de aplicativos, aliadas a versatilidade da internet e as funcionalidades dos sensores presentes nesses equipamentos. Pesquisas revelam que existe uma significativa mudança nas relações entre a informação e a produção de conhecimentos, que potencializa e diversifica os modelos de ensino e de aprendizagem. Entre as potencialidades pode-se citar a autonomia do aluno, o trabalho colaborativo, a facilidade e rapidez na obtenção de informações, a flexibilidade de espaços e horários.

Para [15], os smartphones, podem se tornar ferramentas extremamente úteis para a aprendizagem experimental devido à rica variedade de sensores que eles possuem e às suas amplas capacidades de cálculo. Corroborando com esta ideia, [16] afirmam que os smartphones oferecem muitas vantagens, como poder de computação poderoso, portabilidade e recursos de comunicação sem fio, podendo fornecer aos alunos um ambiente científico rico e uma experiência de aprendizado imersiva para o aprendizado de ciências.

## B. Aquisição de dados dos sensores de um smartphone e o ensino de física

Os smartphones são aparelhos dotados de uma diversidade de sensores medindo em tempo real variáveis de movimento e do ambiente. Independentemente do modelo e de seu custo, dos mais simples aos mais sofisticados, o avanço na concepção e construção de microsensores baseados em semicondutores além de todo poder de interação trazidos desde o surgimento do primeiro smartphone, são uma fonte importante de medidas de parâmetros físicos de forma imediata, fácil e

simples. Apesar do grande número de aplicativos desenvolvidos que permitem a utilização dos sensores de um smartphone, a criação do aplicativo Phyphox, produto educacional proveniente da Universidade de Aachen, Alemanha (<https://phyphox.org/>), trouxe recursos mais ajustados a produção de experimentos com forte teor de incentivo à exploração e ampliou as possibilidades com recursos importantes como a transmissão de dados via rede Wifi a partir do smartphone e recepção de dados pelo smartphone a partir de fontes transmitindo via bluetooth e a customização da interface do aplicativo para experimentos criados sob demanda [16, 17].

No contexto do Ensino de Física, diversos trabalhos propuseram o uso de tecnologias móveis, como smartphones e tablets, para amenizar os problemas decorrentes da falta de laboratório nas escolas. Este perfil de trabalho traz com abordagem nos diferentes sensores de um smartphone e nas possibilidades que este meio experimental permite, tal como a transmissão via web, a criação de rotinas customizadas e a integração com microcontroladores e sensores externos ao smartphone [18, 19, 20]. A aplicação de smartphones na experimentação é vantajosa uma vez que promove a viabilidade experimental a partir da integração com computador, de sensores prontos para medir e o uso imediato. Estas características tem potencial para simplificar o uso no ambiente de sala de aula cuja rotina nem sempre é favorável e estimulante ao professor. Entre várias aplicações de smartphones dedicadas à experimentação no ensino de física, a Tabela I ilustra trabalhos que utilizaram smartphones e diferentes sensores:

**Tabela I.** Lista de trabalhos com tema central e sensor do smartphone adotado.

Tema central	Sensor	Referência
Polarização	Intensidade luminosa	Da Silva Santos, 2023
Eletricidade	Entrada TRRS Fone	Torriente-García, 2023
Hidrodinâmica	Barômetro	Dorsel, 2022
Óptica	Intensidade luminosa	Ariston, 2022
Movimento Circular	Magnetômetro	Pili, 2018
Hidrodinâmica	Barômetro	Macchia, 2017
Acústica na vibração de sólidos	Microfone	Gonzáles, 2016
Intensidade do campo magnético	Magnetômetro e acelerômetro	Silva, 2012

Muitos trabalhos dos últimos anos têm utilizado smartphones e seus sensores em experiências interessantes utilizando o magnetômetro e o campo produzido por ímãs permanentes reciclados para monitorar e analisar movimentos [21, 22, 23, 24, 25, 26] bem como medidas realizadas a partir de sensores diferentes simultaneamente [14, 27]. Estes trabalhos inspiraram a elaboração do esquema experimental que foi utilizando neste trabalho. A ideia neste trabalho foi produzir dados a partir do magnetômetro e do giroscópio visando analisar um padrão típico de transmissão característico de

cada combinação de relação e determinar a relação entre períodos da coroa e do pinhão.

### C. Medidas em tempo real do movimento de transmissão uma bicicleta

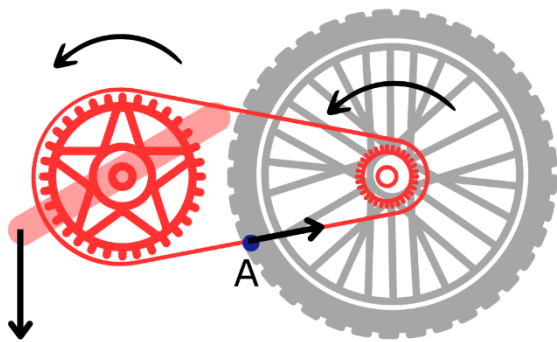
O Movimento Circular Uniforme (MCU) é a base para analisarmos as transmissões de movimentos periódicos. A velocidade em determinado ponto na extremidade do objeto em movimento pode ser tomada como referência e a partir deste ponto e do eixo de rotação envolvido o movimento pode ser analisado. A velocidade angular ( $\omega$ ) pode ser definida como a relação entre a quantidade de voltas dadas por um ponto de referência e o tempo necessário para completá-las. Em termos iniciais, considerando uma volta completa em termos de radianos ( $2\pi$  rad) e o período ( $T$ ), a velocidade angular fica definida por:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (1)$$

A velocidade angular também fica relacionada a velocidade em um ponto de referência ( $v$ ) e a distância deste ponto ao eixo de rotação a partir da relação:

$$\omega = \frac{v}{R}. \quad (2)$$

Na condição que a corrente esteja firmemente tensionada, cada pedalada imposta sobre o pedivela da bicicleta move a coroa, o que leva a aplicação de torque sobre o pinhão. A relação entre o número de dentes de coroa e pinhão definirá se o torque promovido exigiu mais ou menos força do ciclista. Por outro lado, esta mesma relação significará mais voltas dadas pela coroa em comparação com o pinhão e consequentemente com a roda de trás, já que esta mantém-se no mesmo eixo de referência enquanto a corrente está tensionada. A figura 1 mostra um esquema gráfico representando a transmissão de uma bicicleta.



**Figura 1.** Esquema gráfico representando a conexão coroa-corrente-pinhão na transmissão de uma bicicleta enquanto a força  $F$  é aplicada sobre um dos pedais.

Considerando a condição da corrente firmemente esticada e tracionada, podemos relacionar a velocidade do ponto A da figura sobre a corrente a partir da relação:

$$v_A = \omega_{Coroa} \cdot R_{Coroa} = \omega_{Pinhão} \cdot R_{Pinhão}. \quad (3)$$

As coroas e pinhões de bicicletas são comercialmente descritos em termos do número de dentes que cada engrenagem possui, o que reflete diretamente no comprimento de cada circunferência compreendida. Sendo assim, se  $N_{DC}$  é o número de dentes da coroa e  $N_{DP}$  é o número de dentes do pinhão, a relação de períodos da coroa ( $T_C$ ) e do pinhão ( $T_P$ ), respectivamente será dado pela expressão:

$$\frac{N_{DC}}{T_C} = \frac{N_{DP}}{T_P}. \quad (4)$$

E a relação entre período será dada:

$$\frac{T_C}{T_P} = \frac{N_{DC}}{N_{DP}}. \quad (5)$$

O movimento de cada parte da transmissão da bicicleta (coroa e pinhão) é periódico. Pode ser descrito por uma função trigonométrica tal como seno ou cosseno. A condição de início do movimento, quando o sensor e o ímã estão alinhados, é a posição de intensidade de sinal maior, de forma que a função cosseno tem a melhor condição:

$$A(t) = A_0 \cos(\omega t + \phi).$$

Onde  $A_0$  é a amplitude da função,  $\omega$  é a frequência angular e  $\phi$  é o termo de fase da função.

## III. METODOLOGIA

### A. O estudo de caso como meio de abordar o tema

O tema movimento circular no ensino médio é fundamental para proporcionar aos alunos uma compreensão de várias aplicações associadas ao ciclismo e ao funcionamento da transmissão de motores. Esse tema é crucial para entender o funcionamento de inúmeros dispositivos e sistemas, desde a mecânica dos veículos e o movimento dos planetas até o funcionamento de equipamentos como centrífugas e motores. O tema manteve destaque entre os conteúdos associados na BNCC [5]. A BNCC traz como uma das habilidades específicas para o ensino de física: “Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros)”. Uma das formas de explorar o estudo do movimento circular uniforme em sala de aula é através da experimentação, pois ela permite que os alunos visualizem e compreendam conceitos de forma concreta e prática.

Uma forma importante de abordar o tema é a partir do método de estudo de caso, conforme [28]. Esta metodologia de ensino utiliza a análise de casos reais ou simulados para promover a aprendizagem ativa e o desenvolvimento de habilidades críticas nos estudantes. O método incentiva os alunos a aplicar conhecimentos teóricos a situações práticas, estimulando a discussão, a reflexão e a resolução de

problemas. Segundo [29], ao trabalhar com estudos de caso, os estudantes têm a oportunidade de vivenciar contextos complexos e dinâmicos, desenvolver a capacidade de tomada de decisão e aprimorar suas habilidades de comunicação e argumentação. Além disso, o método promove um ambiente de aprendizagem colaborativa, onde os alunos podem compartilhar diferentes perspectivas e construir conhecimentos de forma coletiva, tornando o processo educacional mais envolvente e eficaz.

**Quadro 1:** Caso: “Com este transporte público, nunca vou conseguir chegar no horário da primeira aula!”.

A situação se passa ao longo do ano de 2023. A cidade em questão possui uma massa muito grande de trabalhadores e operários, que na falta do transporte urbano por ônibus e mesmo oferta de um serviço precário e sucateado, tem no transporte por bicicleta o custo e efetividade adequado as suas possibilidades. A municipalidade em busca de ações para melhorar o transporte de pessoas e a circulação urbana, inicia a construção de ciclofaixas por toda a cidade, o que causa muita polêmica entre os comerciantes locais, que reclamam que a frente de seus estabelecimentos não há mais vagas para estacionamento de carros, pois agora são ocupadas por ciclofaixas. Em meio a uma cidade de passado escravocrata, de muita desigualdade social, com um fluxo de bicicletas e bicicletas elétricas muito grande e sua função na rotina da cidade é muito importante, três estudantes, Mariana, Rafael e Bernardo, moradores de um distrito situado a quase dez quilômetros discutem entre si o trajeto até sua nova escola, onde iniciarão o primeiro ano do ensino médio. Entre muitas questões, um deles não possui bicicleta e busca meios para adquirir uma bicicleta. Durante a visita a uma loja de bicicleta, em meio a tantos modelos e distintas características, Bernardo pergunta aos colegas:

Bernardo: Entre tantos modelos e preços, qual bicicleta comprar?

Mariana: É verdade! Precisamos saber o que há de diferente, o que possa ser importante.

Vendedor: Vocês procuram uma bicicleta de marchas ou pinhão fixo?

Rafael: E bicicleta pode ter marchas?

Vendedor: Sim e existem tipos variados. Vai depender se você pretende subir um morro, por exemplo ou pretende atingir uma velocidade alta! Como nossa cidade possui todo tipo de relevo, vou recomendar a vocês a compra de uma bicicleta de marchas.

Como você poderia ajudar o vendedor a explicar o motivo para indicar uma bicicleta de marchas?

Dessa forma, a proposta didática pode ser organizada em três passos característicos do método de estudo de caso [28]. No qual o primeiro passo é o levantamento de ideias prévias dos estudantes, a partir da leitura e resposta dos problemas apresentados no caso. Esta etapa pode ser realizada em grupos ou individualmente. O segundo passo é o momento de aprofundamento do conteúdo, pode ser realizada uma aula expositiva para trabalho de conceitos do movimento circular e uniforme e em seguida ser realizada a prática experimental

aqui proposta e detalhada mais adiante. O terceiro e último passo, é a retomada do caso e respondê-lo novamente, este passo é importante para verificar a evolução dos estudantes em relação aos conceitos prévios apresentados na etapa inicial. O caso aqui apresentado foi abordado em um curso de atualização para professores de uma rede municipal de ensino em no primeiro semestre de 2023 e retrata o contexto da cidade da escola, mas este pode ser modificado de acordo com o contexto de cada grupo ou ser tratado como um problema geral das cidades.

O caso proposto foi intitulado “Com este transporte público, nunca vou conseguir chegar no horário da primeira aula!”, trata da questão do transporte cicloviário em uma cidade de médio porte brasileira. O Quadro 1 apresenta o caso elaborado.

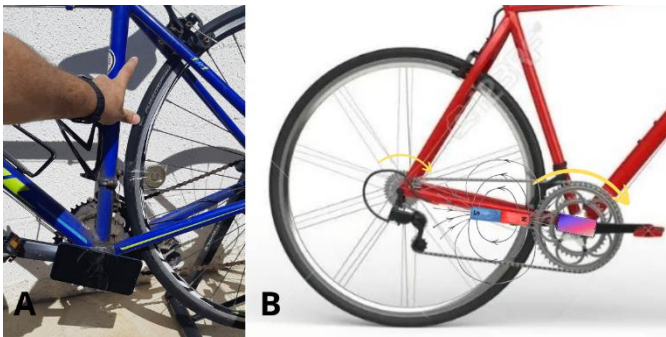
O caso foi inserido na estrutura de uma sequência didática (Tabela II) que foi aplicada a um curso de atualização de professores. O curso foi desenvolvido em um turno de quatro horas com um intervalo.

**Tabela II.** Sequência didática para abordagem do tema em sala de aula.

Etap a	Descrição
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentação do caso e respostas com ideias prévias.</li> <li>• Fundamentação sobre os conceitos de período (T), frequência (f) e transmissão</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inserção do contexto da bicicleta como exemplo de transmissão,</li> <li>• A bicicleta é trazida ao local do curso,</li> <li>• Determinação do sinal do ímã, fixado na roda, detectado pelo smartphone fixado em um ponto da bicicleta,</li> <li>• Exibição em projeção de tela utilizando o aplicativo Phythox do sinal do ímã apurado e análise do período de rotação a partir dos pulsos observados.</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Participação de um professor de matemática convidado: uma atividade conjunta tratando dos fundamentos básicos e aplicações de funções trigonométricas e o contexto da função cosseno na aplicação,</li> <li>• Discussão sobre o sinal apurado nas condições do smartphone fixo e em rotação no pedivela,</li> <li>• Possíveis soluções matemáticas: Breve contextualização do histórico da análise de Fourier.</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os meios experimentais utilizados presentes em sala de aula,</li> <li>• Roda de conversa e discussão em grupos de 4 a 5 participantes a respeito da função e importância da bicicleta como meio de transporte, incluindo bicicletas elétricas e a função tecnológica da transmissão no funcionamento de meios de transporte e máquinas,</li> <li>• Formulação de uma conclusão geral em cada grupo.</li> <li>• Retomada do caso</li> </ul>

## B. Aspectos experimentais e teóricos abordados na situação

A bicicleta utilizada no esquema experimental foi mantida fixa sobre um rolo de treino (figura 2A) enquanto um dos pedais foi acionado pela a mão do experimentador. O rolo de treino permite que a roda traseira da bicicleta gire livremente enquanto a bicicleta mantém-se parada com o ciclista sentado e equilíbrio. O ímã foi afixado próximo a borda do aro da bicicleta e o smartphone afixado próximo ao centro do pedivela.



**Figura 2.** A) Fotografia da montagem experimental, onde o círculo indica a posição do ímã; B) Desenho gráfico das posições do smartphone e do ímã nas posições que foram ajustados na bicicleta.

O smartphone (modelo SM-A505GT) foi fixado sobre o pedivela da bicicleta. A aquisição dos dados foi realizada a partir do aplicativo Phyphox. O aplicativo permite controle e aquisição de dados via conexão Wifi do smartphone e de um computador. Este modo para acesso remoto foi utilizado para o controle do aplicativo e visualização dos dados a partir de um notebook. Após o início da aquisição de dados, foi ajustada a posição inicial de referência com o magnetômetro e o ímã, conforme apresenta a figura 2B, antes de ter iniciado o movimento de pedalar o pedivela. A bicicleta utilizada no experimento possui um grupo de transmissão com 16 velocidades disponíveis (modelo Shimano Claris R2000). Dentre as dezesseis velocidades disponíveis no grupo de transmissão da bicicleta foram selecionadas duas velocidades para a aquisição de dados nas combinações apresentadas na Tabela III a seguir:

As duas velocidades foram de forma que a menor frequência estivesse sobre a coroa. Esta escolha simplificou a observação de padrão de pulso no sinal resultante, facilitando a análise, e permitiu um controle mais fino durante cada pedalada. Para cada velocidade (Tabela III) foram realizadas três voltas do pedivela pela mão do experimentador que buscou manter uma cadência constante e com a corrente tracionada. No início do movimento do pedal o ímã foi posicionado próxima do sensor (figura 2B). O aplicativo foi acionado por meio do acesso web que o aplicativo possibilita.

Os dados produzidos pelo giroscópio e magnetômetro foram coletados e armazenados. O sinal do campo magnético observado é resultado do movimento periódico do sensor concomitantemente ao movimento periódico do ímã. Na circunstância da roda traseira estar em movimento enquanto o

pedivela está parado (o sensor parado e do ímã em movimento) a intensidade do campo magnético apresenta pulsos de largura equivalente ao tempo de passagem do ímã pelo pela posição do sensor. Na situação proposta, uma vez o que o sensor e ímã estão em movimento, os picos ou pulsos da passagem do ímã permanecem ocorrendo, porém a distância do sensor ao ímã muda durante o movimento.

**Tabela III.** Relações Coroa-Pinhão utilizadas na realização do experimento.

	Coroa (número de dentes)	Pinhão (número de dentes)
Velocidade 1	50	11
Velocidade 2	34	11

Desta forma, os dados produzidos a partir do sinal do magnetômetro e do giroscópio foram analisados na busca por uma função periódica que atendesse o comportamento apresentado. A velocidade angular medida foi utilizada para monitorar a cadência da pedalada. Uma função para determinar a variação do campo magnético durante as pedaladas foi proposta a partir da associação entre intensidade do campo e a distância sensor e ímã. No ponto de partida (figura 2B) o ponto máximo do campo é quando sensor e ímã estão frente a frente e a partir do movimento relativo do pedivela em relação a roda, sensor e ímã periodicamente se encontrarão. Considerando que junto à periodicidade dos picos da passagem do ímã, também haveria a periodicidade do movimento do sensor, as variações da distância foram estabelecidas como condição de análise e uma função periódica compatível com a condição de campo máximo. O modelo de partida foi definido assim:

$$B(t) = B_{Máx} - B_1 \cdot \cos(\omega_{Coroa} \cdot t + \varphi) + B_2 \cdot \cos(\omega_{Pinhão} \cdot t + \varphi). \quad (6)$$

$B_{Máx}$  é o campo magnético medido no ponto de partida,  $B_1$  e  $B_2$  são constantes arbitrárias das funções,  $\omega_{Coroa}$  e  $\omega_{Pinhão}$ , são a razão entre o número de dentes de cada engrenagem e  $2\pi$ , respectivamente,  $\varphi$ , é um termo arbitrário de ajuste de fase com os dados experimentais. Buscando uma adequação da componente da função dedicada ao movimento do pinhão, foi aplicada uma série de Fourier, do tipo par, através de uma série de cossenos de oito termos, que é definida a seguir:

$$A(t) = A_{Máx} - A_1 \cdot \cos(\omega_{Coroa} \cdot t + \varphi) + \sum_1^n A_n \cdot \cos(n \cdot \omega_{Pinhão} \cdot t + \varphi). \quad (7)$$

A função na equação 7 foi aplicada para  $n = 9$ . A simulação da função da equação 7 foi empregada na identificação de picos dos dados experimentais obtidos.

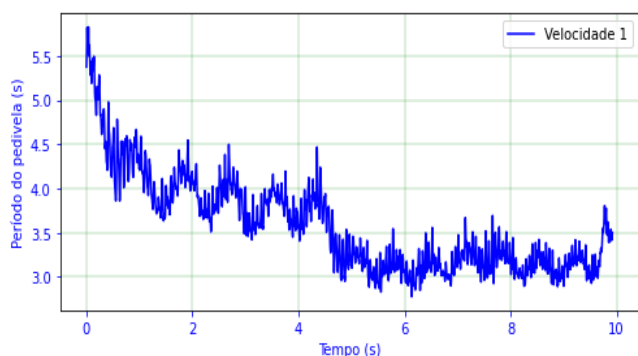


## IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O início da aquisição de dados ocorreu antes do pedivela ser movimentado. Uma vez que a aquisição de dados foi iniciada, a roda foi posicionada manualmente na posição alinhada ao magnetômetro do smartphone (figura 2B). A aquisição de dados foi iniciada utilizando a função de acesso remoto do aplicativo Phypox. O pedivela então foi acionado pela mão do experimentador e durante três voltas completas. Este procedimento foi repetido para as duas velocidades da Tabela 2. A cadência da pedalada foi monitorada através do sinal do giroscópio. Este dado foi utilizado durante a análise do sinal magnético para determinar o período dinâmico da pedalada (equação 8). A partir da equação (1), sendo  $\omega(t)$  o sinal produzido em função do tempo pelo giroscópio, o período em função do tempo foi obtido a partir da expressão:

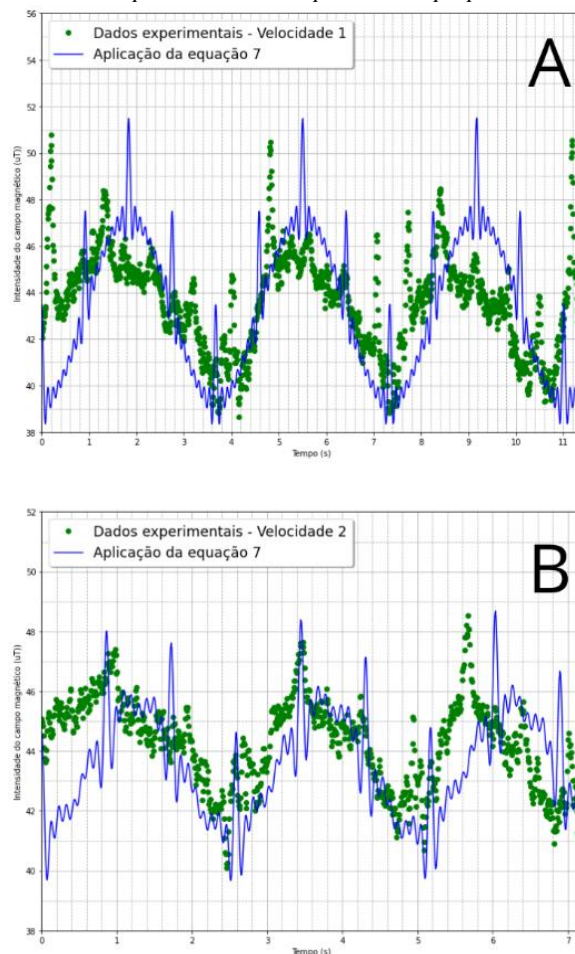
$$T(t) = \frac{2\pi}{\omega(t)}. \quad (8)$$

A figura 4 mostra o período do movimento de pedivela da velocidade 1 que foi monitorado a partir dos dados gerados pelo giroscópio. Variações no período do pedivela foram observadas durante a realização das três voltas e o período a partir do quinto segundo estabilizou-se em 4,0 s, o que fundamentou a escolha em determinarmos o tempo entre picos durante a segunda volta.



**Figura 4.** Período de rotação do pedivela. O período do pedivela foi apurado a partir do módulo da velocidade angular.

A figura 5 apresenta o sinal do campo magnético monitorado pelo smartphone para ambas as velocidades. Sobreposto aos dados experimentais estão os dados provenientes da aplicação de parâmetros definidos para a equação 7. As marcações de intervalo de tempo entre picos são apresentadas na tabela III. Apesar das diferenças de período observadas pelas medidas do giroscópio, os dados dos intervalos de tempo entre pico apresentaram diferenças menores que 9%. Os picos observados apresentaram intensidades levemente variadas o que pode ter relação com a variação da cadência e a orientação da região de maior sensibilidade do magnetômetro se aproximando e se afastando do ímã.



**Figura 5.** Módulo do campo magnético e a aplicação da equação 7 para A) velocidade 1 e B) velocidade 2.

A tabela IV traz os valores dos parâmetros aplicados à equação 7 para a velocidade 1 (figura 5A) e velocidade 2 (figura 5B). Os dados experimentais apresentados na figura 5 mostram uma variabilidade da intensidade dos picos. A análise do trabalho e das condições experimentais sugeriram que esta variabilidade tem relação com a região do foco de maior sensibilidade que o magnetômetro apresenta no smartphone e a instabilidade na posição do aparelho durante o movimento, haja visto que há uma tendência de aumento do pico quando coincide a chegada do foco do aparelho conjuntamente com o ímã e uma redução quando ocorre o afastamento do aparelho enquanto o ímã se aproxima. Para ambas as velocidades, em função das combinações coroa-pinhão, a cada volta da coroa, o pinhão e consequentemente a roda da bicicleta deram várias voltas.

O tempo para cada pico observado foi medido manualmente a partir dos dados do gráfico das figuras 5A e 5B. O intervalo de tempo entre os picos a cada volta do pedivela para ambas as velocidades foi determinado e é apresentado nas tabelas V e VI.

**Tabela IV.** Parâmetros aplicados à equação 7 para cada velocidade, conforme ilustrado na figura 5A.

Parâmetros	Velocidade 1	Velocidade 2
T	3,7	2,5
A <sub>0</sub>	43,5	43,5
ω <sub>1</sub>	1,7	2,5
φ <sub>1</sub>	0,0	0,0
A <sub>1</sub>	4,0	2,2
ω <sub>2</sub>	6,8	7,3
φ <sub>2</sub>	2,0	2,0
A <sub>2</sub>	0,5	0,2
A <sub>3</sub>	0,5	0,1
A <sub>4</sub>	0,5	0,5
A <sub>5</sub>	0,5	0,5
A <sub>6</sub>	0,5	0,5
A <sub>7</sub>	0,5	0,5
A <sub>8</sub>	0,5	0,5
A <sub>9</sub>	0,5	0,5

Uma vez que a soma do intervalo de tempo de todos os picos chegou ao período de uma volta completa do pedivela, isto nos permitiu associar diretamente a velocidade angular do pedivela com as passagens do ímã no ponto de partida do sensor e do ímã no início do movimento (figura 2B).

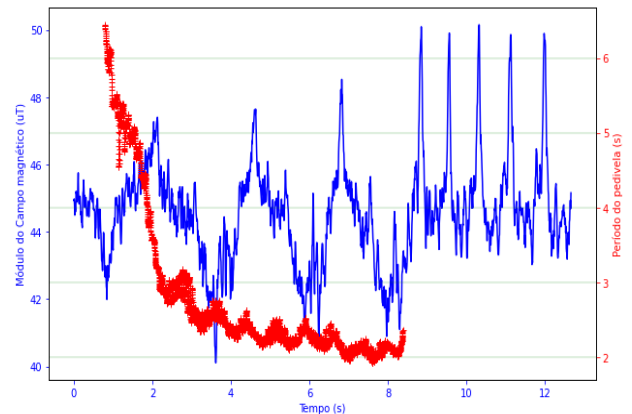
**Tabela V.** Intervalos de tempo coletados para uma sequência de picos da segunda do pedivela registrada no gráfico da figura 5B.

Pico	Tempo (s)	Δt
1	3,80	
2	4,62	0,82
3	5,37	0,75
4	6,04	0,67
5	6,72	0,68
6	7,38	0,66
	Total	3,6

A velocidade angular medida foi utilizada para determinar o tempo de partida a ser considerado para o campo magnético. Na figura 6, as cruzes vermelhas (legenda à direita) indicam o período em função do tempo do pedivela durante o experimento. Podemos observar que o período mantém uma estabilização entre os instantes 2 e 8 segundos quando o movimento do pedivela é interrompido, a partir do oitavo segundo. A partir deste instante a roda continua seu movimento livre e o pedivela permanece parado. Os picos observados entre os instantes 9 e 12 segundos indicam os tempos de passagem do ímã pela posição agora fixa do smartphone. A roda da bicicleta utilizada tem aro com 700 mm de diâmetro, o que nos permitiu estimar a velocidade de passagem do ímã no período de 9 a 12 s em 11 km/h.

O instante do centro de cada pico foi medido a partir do gráfico do campo magnético (figura 6, legenda para o campo magnético à esquerda). Estes dados são apresentados na Tabela V e VI. Apesar da variação no período de giro do pedivela, as medidas dos intervalos de tempo pico a pico da segunda volta, onde o período do pedivela já estava mais constante, apresentam intervalos bem regulares. Diferentemente de situações hipotéticas, as relações entre períodos em um sistema real não são ajustadas em relações de

números inteiros e isto fica bem ilustrado nas duas velocidades utilizadas e nos sinais apresentados.



**Figura 6.** Sinal do magnetômetro (linha azul) durante os giros do pedivela (cruzes vermelhas) para a velocidade 1.

**Tabela VI.** Intervalos de tempo coletados para uma sequência de picos da segunda volta registrada no gráfico da figura 6.

Pico	Tempo (s)	Δt
1	5,0	
2	5,3	0,76
3	6,0	0,69
4	6,7	0,74
	Total	2,2

## V. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta uma proposta didática que alia o método de estudo de caso a uma alternativa para a prática experimental em sala de aula no ensino médio, utilizando materiais de baixo custo e fácil aquisição, além de uma montagem simples. O uso do aplicativo PhyPhox com o smartphone permite a rápida obtenção dos resultados e facilita a visualização dos dados durante e após o experimento. Além disso, esse aparato experimental pode ser construído juntamente com os alunos em sala de aula. A prática experimental apresentou uma medida simultânea de dois sensores de um smartphone. O giroscópio e o magnetômetro foram utilizados concomitantemente para medir em tempo real o sistema de transmissão de uma bicicleta enquanto ela era pedalada.

Os resultados apresentaram consistência com o movimento relativo entre sensor e ímã e um padrão próprio podendo ser representada a partir de uma composição de série de funções trigonométricas. Picos bem evidenciados registraram a passagem do ímã pela posição de referência inicial enquanto o smartphone realizava seu período juntamente com o pedivela da bicicleta, tendendo ao período próprio da pedalada realizada durante o experimento. Os dados do giroscópio apresentaram a velocidade angular do pedivela na condição real, admitindo variações significativas do período no início do movimento. Uma função para modelagem do comportamento do campo magnético foi



apresentada e simulada, oferecendo condições para ajustes bem próximos a tendência apresentada pelo sistema real.

Por fim, o modelo de função proposto apresenta um padrão compatível com o sinal do magnetômetro e a contagem dos picos de passagem da roda pela posição de partida, permitiu-nos associar com precisão a razão entre os períodos do pedivela/coroa e da roda/pinhão de acordo com a relação esperada. Nesta prática, foi possível construir com poucos recursos uma opção experimental para ensinar e verificar de forma prática e detalhada o movimento circular uniforme, bem como estimular a análise mais complexa de problemas do cotidiano através de recursos matemáticos como as Séries de Fourier. Assim, concluímos que a proposta didática apresentada, aliando o método de estudo de caso a uma prática experimental, pode contribuir significativamente para o ensino de física em escolas de ensino médio desprovidas de laboratórios devidamente equipados, oferecendo uma experiência de aprendizado mais interativa e significativa.

## REFERÊNCIAS

[1] Moreira, M. A., *Ensino de Ciências: críticas e desafios*, Experiências em Ensino de Ciências **16**, No. 2 (2021).

[2] Kearney, M., Burden, K., Rai, T., *Investigating teachers' adoption of signature mobile pedagogies*, Computers & Education **80**, 48-57 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.08.009>.

[3] CETIC. Centro de Estudos sobre as Tecnologias da Informação e da Comunicação (2018). Disponível em: <<https://cetic.br/>> Acesso em: 06 fev. 2024.

[4] Pedroso, L. S., Pinto, J. A., Macêdo, J. A., Da Costa, G. A., *Experimentos de baixo custo utilizando o aplicativo de física Phyphox*, Latin-American Journal of Physics Education, **14**(4), 1 (2020).

[5] Brasil, BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília (2018).

[6] Britannica (2024), <https://www.britannica.com/technology/bicycle>. Acesso em: Fev-2024.

[7] Wenger, E., *Comunidades de prática: aprendizagem, significado e identidade*, (Paidós Iberica Ediciones S A, Barcelona, 2001).

[8] Mora, M., Guachún, P., & Guznay, S., *Unaprática de laboratorio de óptica utilizando smartphones: una experiencia pedagógica en la Universidad de Cuenca*, Mamakuna **14**, 56–67 (2020). Recuperado a partir de <https://revistas.unae.edu.ec/index.php/mamakuna/article/view/358>

[9] Sauzem Wesendonk, F., Terrazzan, E. A., *Condicionantes para a utilização de experimentações por professores de física do ensino médio*, Revista de Enseñanza de la Física **32**, 123–136 (2020). <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v32.n1.28939>.

[10] Santos, B. M., Silva, H. E. da, Rosa, R. C., *Relato de experiência: Atividades lúdicas e experimentais para o ensino de ondas*, REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática, Cuiabá, Brasil **8**, 327–351 (2020). DOI: 10.26571/reamec.v8i2.9368.

[11] Soga, D., Guimarães, M. H. U., Muramatsu, M., *Um estudo experimental sobre a luz negra com Smartphone*, Revista Brasileira de Ensino de Física **42**, e20190107, jan. 2020. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172020000100423&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172020000100423&tlng=pt)>.

[12] Celin, W., Solano, C., Molina, J., *Plano Inclinado con dos sensores para la enseñanza del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado*, Revista Espacio **30**(20), 9 (2017).

[13] Destéffani Admiral, T., *Aula experimental remota: determinação do coeficiente de restituição utilizando Arduino*, Revista de Enseñanza de la Física **34**(1), 93–100 (2022). <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v34.n1.37937>.

[14] González, M. A., González, M. A., *Smartphones as experimental tools to measure acoustical and mechanical properties of vibrating rods*, European Journal of Physics **37**, 045701 (2016).

[15] Zydney, J. M., Warner, Z., *Mobile apps for science learning: Review of research*, Computers & Education **94**, 1-17 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.11.001>.

[16] Macchia, S., Vieyra, R., *A simple wind tunnel to analyse Bernoulli's principle*, Phys. Educ. **52**, 13004 (2017). DOI:10.1088/1361-6552/52/1/013004.

[17] Dorsel, D., Staacks, S., Heinke, H., Stampfer, C., *Using a Smartphone pressure sensor as Pitot tube speedometer*, The Physics Teacher **60**, 273 (2020). DOI: 10.1119/5.0025899.

[18] Staacks, S., Dorsel, D., Hütz, S., Stallmach, F., Splith, T., Heinke, H., Stampfer, C., *Collaborative smartphone experiments for large audiences with phyphox*, European Journal of Physics **43**(5), (2022). DOI 10.1088/1361-6404/ac7830.

[19] Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H., Stampfer, C., *Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox*, Physics Education **53**(4), (2018). DOI 10.1088/1361-6552/aac05e.

[20] Vieyra, R., Vieyra, C., Jeanjacquot, P., Martí, A., Monteiro, M., *Turn Your Smartphone Into a Science Laboratory*, The Science Teacher **82**(9), (2015). 10.2505/4/tst15\_082\_09\_32.

[21] Saba, M. M. F., Rosa, R. A da S., *The doppler effect of a sound source moving in a circle*, The Physics Teacher **41**, 89-91, (2003). DOI:10.1119/1.1542044.

[22] Pili, U., Violanda, R., *Measuring average angular velocity with a smartphone magnetic field sensor*, The physics teacher **56**, 114-115 (2018). DOI: 10.1119/1.5021442.

[23] Arribas, E., Escobar, I., Suarez, C.P., Najera, A., Beléndez, A., *Measurement of the magnetic field of small magnets with a smartphone: a very economical laboratory practice for introductory physics courses*, European Journal of Physics **36**(6), 065002, (2015). DOI: 10.1088/0143-0807/36/6/065002.

[24] Silva, N., *Magnetic field sensor*, The Physics Teacher, **50**, 372-373 (2012). <https://doi.org/10.1119/1.4745697>.

[25] Da Silva Santos, M. F., Laia, A. S., *Abordagem quantitativa da polarização da luz: Explorando a Lei de Malus com o aplicativo PhyPhox*, Revista Brasileira De Ensino De Física **45**, e20220320 (2023). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2022-0320>.

[26] Torriente-García, I, Martí, A. C., Monteiro, M., Stari, C., Castro-Palacio, J. C., Monsorriu, J. A., *RLC series circuit made*

Cassiana Hygino Barreto Machado & Milton Baptista Filho  
*simple and portable with smartphones*, *Physics Education* **59**  
(1), (2023). DOI 10.1088/1361-6552/ad04fb.  
[27] Monteiro, M., Stari, C., Cabeza, C., Martí, A.C., *Physics*  
*experiments using simultaneously more than one smartphone*  
*sensors*, *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*,  
1287, 012058 (2019).  
doi:10.1088/1742-6596/1287/1/012058.

[28] Linhares, M. P., Reis, E. M., Estudos de caso como  
estratégia de ensino na formação de professores de física,  
*Ciência & Educação (Bauru)* **14**, 555-574 (2008).  
[29] Lourenço A. B, Sousa, A. E. C., Costa, G. G. G.,  
Colombo Junior, P. D., Pereira, A. L. J., *The Case Study*  
*Method in physics teaching: student perceptions of high*  
*school*, *Revista de Enseñanza de la Física* **33**(2), (2021).