

## EXPERIMENTO DE FÍSICA COM ARDUINO EM AULA REMOTA: O PROBLEMA DO PÊNDULO SIMPLES

### REMOTE CLASSROOM ARDUINO PHYSICS EXPERIMENT: THE SIMPLE PENDULUM PROBLEM

Tiago Destéffani Admiral

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense – MNPEF -IFF  
tdesteffani@gmail.com

**Resumo:** A utilização de tecnologias da informação tem ganhado um espaço enorme na educação, especialmente em tempos de aulas remotas devido à pandemia provocada pela infecção do novo Sars covid-19. Entre os principais desafios das adaptações das aulas remotas, podemos destacar a realização de atividades experimentais. Este artigo descreve um relato de experiência de uma aula remota, com a realização de uma atividade experimental de maneira remota. O experimento consistiu na utilização de arduino para coletar dados, para que os alunos conseguissem determinar o período do pêndulo simples e, por sua vez, o comprimento do pêndulo. A metodologia envolveu coleta de dados em tempo real, trabalho em grupos separados, com dados diferentes e tratamento dos dados por parte dos alunos. Além de dados experimentais com erros de ordem de 2,0 %, os resultados da aprendizagem e participação dos alunos foram considerados satisfatórios.

**Palavras-chave:** Ensino de física. Ensino remoto. Atividade experimental. Arduino.

**Abstract:** The use of information technologies has gained enormous space in education, especially in times of remote classes due to the pandemic caused by the infection of the new SARS covid-19. Among the main challenges of adapting remote classes, we can highlight the performance of experimental activities. This article describes an experience report from a remote class, with the performance of an experimental activity, remotely. The experiment consisted of using Arduino to collect data so that students could determine the period of the simple pendulum and, in turn, the length of the pendulum. The methodology involved data collection in real time, work in separate groups, with different data and treatment of the data by the students. In addition to experimental data with errors of the order of 2,0%, the results of the students' learning and participation were extremely satisfactory.

**Keywords:** Physics teaching. Remote teaching. Experimental activity. Arduino.

## 1 INTRODUÇÃO

Não é recente o debate sobre os benefícios da inclusão, cada vez maior, das tecnologias de informação no ensino de ciências, em especial de física (MONTEIRO, 2016; BARBOSA, et al., 2006). Entretanto, o advento da pandemia, pelo novo Sars covid-19 potencializou a utilização de plataformas digitais para o ensino remoto e, por sua vez, tornou obrigatória a utilização de alguns

recursos tecnológicos que antes eram opcionais. Um exemplo claro é a utilização de ambientes virtuais de aprendizagem AVAs.

A literatura indica que existem, já há algum tempo, relatos sobre a utilização de plataformas virtuais para a realização de experimentos de forma remota (CARDOSO, 2011; SILVA, et al. 2012). Mais recentemente podemos citar alguns exemplos de experiências desse tipo, como no trabalho de Souza (2019), que relata um experimento de óptica e física moderna, com o uso de LEDs e outros recursos acessíveis. O experimento em questão foi aplicado, de forma remota, a alunos de ensino médio de uma escola particular.

Vale ressaltar a importância das atividades experimentais para o ensino de ciências, em especial do ensino de física (ARAÚJO; ABIB, 2003). Dada a natureza do conhecimento científico, o aspecto fenomenológico torna-se tanto uma fonte de conhecimento quanto um elemento motivador para o ensino.

Outro trabalho que desenvolveu de maneira similar (HECK, 2016) investigou a percepção de alunos do ensino médio sobre a realização de experimentos de maneira remota. Neste trabalho, os alunos participaram de experimentos sobre circuitos, associação de resistores e cálculo de corrente elétrica. Os autores conseguiram elaborar uma sequência didática que gerou uma boa participação por parte dos alunos, bem como indícios que apontaram um bom desempenho na aprendizagem dos conceitos desejados.

Mesmo com a utilização dessas plataformas, existem aspectos do ensino que são mais complicados de adaptação. Na física, por exemplo, as atividades experimentais, mesmo as mais simples, podem tornar-se um grande desafio para serem executadas de forma remota. No que diz respeito aos experimentos de física, utilizados como recursos didáticos, podemos estabelecer duas categorias distintas: os experimentos demonstrativos, nos quais o enfoque é maior no aspecto fenomenológico e qualitativo; e os experimentos quantitativos, nos quais o enfoque, em geral, está na verificação matemática de alguma lei, por exemplo, que ocorre mediante a análise de dados coletados (ARAÚJO; ABIB, 2003).

A escolha do tipo de experimentação está relacionada com os objetivos de aprendizagem, que podem variar de objetivos conceituais até o desenvolvimento de habilidades matemáticas, por exemplo. O fator que diferencia o tipo de atividade experimental é a metodologia aplicada (ARAÚJO; ABIB, 2003).

No que diz respeito ao ensino remoto, o primeiro tipo de atividade experimental, demonstrativa, é de fácil adaptação, uma vez que o professor faz todos, ou praticamente todos, os procedimentos com o objetivo de demonstrar certo fenômeno, de forma que a prática pode ser transmitida por vídeo de forma síncrona ou mesmo gravada, para que os alunos tenham acesso de forma assíncrona. Já o segundo tipo precisa de uma interação do aluno para observação, coleta de dados e análise de resultados.

Por isso, este artigo traz um relato de experiência de uma atividade experimental quantitativa, para a determinação do período de um pêndulo simples, utilizando o arduino para a coleta de dados em tempo real, de forma síncrona. Durante a coleta de dados, os alunos acompanharam a tela do computador mostrando os dados, que foram enviados numa tabela. Na experiência, os alunos foram divididos em grupos, cada grupo foi colocado em uma sala virtual diferente e recebeu um conjunto de dados para determinar o período do pêndulo.

## 2. Referencial teórico

### 2.1 O pêndulo simples

Entre os movimentos que apresentam características de periodicidade, possivelmente o estudo do pêndulo simples é o exemplo inicial a ser abordado nas aulas de física mecânica. Embora o problema do movimento do pêndulo real esteja submetido a efeitos de amortecimento, em especial para ângulos maiores de oscilação (HERNÁNDEZ, 2019) e para uma pequena massa que oscila em um plano específico, pendurada por um fio inextensível e de massa desprezível, com um pequeno ângulo de oscilação, a equação do período é apresentada como a equação 1:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

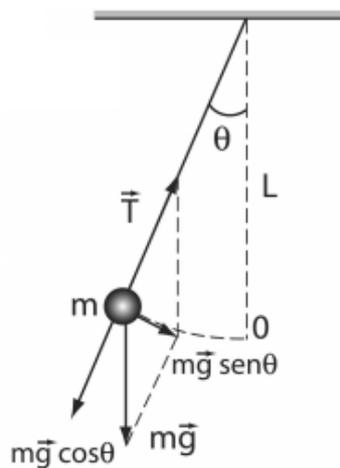
Em que  $T$  é o período em segundos,  $l$  é o comprimento do fio e  $g$  é o módulo da aceleração da gravidade local. Entretanto, essa equação possui limitações (CARVALHAES; SUPPES, 2009) por ser deduzida a partir de um caso particular no qual aproximamos  $\text{Sen}\theta$  por  $\theta$  para pequenas oscilações (expresso em radianos). (Por exemplo, se  $\theta = 5,00^\circ = 0,0873$  rad,  $\text{sen } \theta = 0,0872$ , uma diferença de apenas 0,1%.) ( HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2016, p. 273), assim:

$$\text{Sen}\theta \approx \theta \quad (2)$$

Em que  $\theta$  é a posição angular do pêndulo em relação ao equilíbrio. O trabalho de Suave e Nogueira (2015) explica a extensão do erro associado a essa aproximação, conforme o deslocamento  $\theta$  aumenta (LOPES, et al., 2018). No entanto, os autores concluem que, para exemplificar o movimento em aplicações didáticas, a aproximação se torna uma adaptação adequada.

Ao deslocarmos a massa  $m$  do pêndulo de sua posição de equilíbrio em um ângulo  $\theta$ , podemos analisar as forças que atuam no sistema, conforme se ilustra na Figura 1:

Figura 1: Análise de forças no pêndulo simples.



Fonte: (BARBOSA, et al. 2006).

Ao analisarmos, de acordo com a segunda Lei de Newton, as forças envolvidas no problema, podemos separá-las em duas componentes: as que agem tangencialmente à trajetória e as que agem radialmente, resultando nas equações a seguir:

$$m\vec{g} \cos\theta - \vec{T} = m\vec{a}_r \quad (3)$$

$$-m\bar{g}\text{sen}\theta = m\bar{a}_\theta \quad (4)$$

Em que  $m$  é a massa,  $\bar{a}_r$  e  $\bar{a}_\theta$  são as acelerações radiais e tangenciais, respectivamente, e  $\bar{T}$  é a tensão no fio. O sinal de negativo, no primeiro membro da Equação 4, aparece devido à escolha do sistema de coordenadas. Sabemos que o deslocamento do arco da trajetória é dado por  $x = l\theta$ ; logo, a aceleração  $\bar{a}_\theta$  pode ser reescrita como a derivada segunda do deslocamento:

$$\bar{a}_\theta = l \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (5)$$

Dessa forma, a equação (4) pode ser reescrita sob a forma:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l} \text{sen}\theta = 0 \quad (6)$$

Utilizando a aproximação da equação (2), teremos:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l} \theta = 0 \quad (7)$$

A equação (9) é uma EDO linear e homogênea de segunda ordem, cuja solução geral é uma senoide cujo período é dado pela equação (1), apresentada no início da seção.

## 2.2 A aprendizagem de acordo com Vygotsky

A teoria de aprendizagem, escolhida para nortear as ações metodológicas dessa pesquisa, fundamentaram-se no trabalho de Lev Vygotsky (1896-1934). Para ele, as interações socioculturais são importantes propulsores no processo de aprendizagem do aluno.

Moreira (2003) explica que, para Vygotsky, o aprendizado de um indivíduo apresenta uma relação direta com suas relações interpessoais. Para Vygotsky, a interação, acontecendo de maneira dialética, promove a mobilização de processos mentais superiores, relacionados à comunicação, que potencializam o aprendizado. Contudo, ele explica que essa interação precisa ser de reciprocidade, uma dinâmica na qual um dos agentes fala e o outro escuta passivamente e não se enquadraria na definição de interação exemplificada pelo autor.

Nesse sentido, um fator que torna as chances de sucesso no aprendizado está relacionado diretamente à linguagem, que deve ter os significados e signos compartilhados entre os interlocutores. Moreira (2003) explica que, para Vygotsky, a linguagem era fundamentalmente um conjunto de instrumentos e signos, construídos socialmente e compartilhados por um grupo de pessoas. Relacionando essa definição de forma não arbitrária com a física, podemos concluir que, como um campo de estudo específico, a física compartilha os próprios termos e signos, próprios dessa ciência.

É importante destacar que essa relação não arbitrária implica que: o aluno vai fazer uma associação de algum conceito com sua estrutura cognitiva, de maneira específica e significativa; essa relação, ou associação, é não arbitrária, quando também o aluno consegue estabelecer uma relação lógica entre o novo conhecimento e a estrutura cognitiva existente; uma relação arbitrária, em contrapartida, seria apenas a assimilação de uma informação sem nenhuma relação com a estrutura cognitiva, ou relacionada a esta de forma não significativa, ou seja, relacionada de maneira aleatória ou arbitrária.

Por isso, é importante que o aluno possua o conhecimento de termos utilizados na linguagem científica, a fim de tornar mais eficaz a interação entre professor e aluno.

Não é incomum, em nossas salas de aula, depararmos com situações nas quais um aluno tenta, muitas vezes com sucesso, explicar ao colega um determinado conceito ou procedimento. Para Vygotsky, essa interação aluno-aluno é também extremamente importante para o aprendizado. Parte do sucesso do aprendizado de um aluno, quando proveniente da explicação de uma colega, ocorre pelo fato de que, por eles pertencerem ao mesmo grupo social, compartilham signos e linguagens, o que torna a comunicação mais eficaz.

Por fim, outro aspecto importante que pode ser mencionado é o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) estabelecido por Vygotsky, para ilustrar as etapas de aprendizado de determinado conhecimento. Essa "região" que ele define indica qual seria a distância entre o nível de desenvolvimento real, que avaliamos com problemas de solução individual, e o nível de desenvolvimento potencial, que seria estabelecido pela solução de problemas com alguma orientação ou supervisão (OSTERMANN, 2010).

De acordo com Moreira (1997), Vygotsky, então, considerava eficaz o aprendizado quando ele ocorria à frente da ZDP, pois, dessa forma, garantiria que o aluno teria aprendido um conhecimento que estava além daquilo que podia fazer por conta própria. Essa seria a essência do aprendizado, que teria o professor desenvolvendo o papel de quem identifica essa ZDP, estabelece critérios de aprendizagem e norteia o aluno à frente, para aprender conceitos ainda não compreendidos por ele.

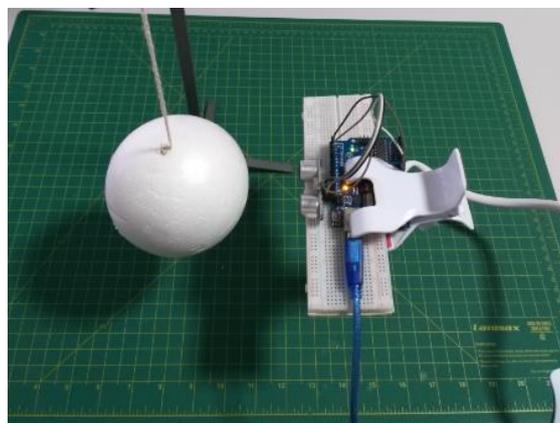
### 3. Metodologia

Nosso experimento para a medição do período do pêndulo é uma reprodução do aparato experimental realizado por (ADMIRAL et al., 2018). A parte eletrônica do projeto é exatamente igual, porém o suporte para a fixação do sensor e o pêndulo são feitos de outros materiais, o que não altera a essência do experimento. Para executar o experimento, são necessários os seguintes materiais:

- 01 arduino UNO (ou qualquer outro modelo de placa arduino);
- 01 sensor HCSR-04;
- 01 pêndulo simples.

Também é necessário um objeto que sirva de suporte, para segurar o sensor nas proximidades do pêndulo. Em nosso caso, usamos um suporte universal para *smartphones*. O aparato completo pode ser visto na Figura 2:

Figura 2: Aparato experimental visto de cima.



A montagem do experimento consiste em posicionar o sensor HCSR-04 de frente para o objeto que vai oscilar no pêndulo, e o programa vai registrar qual é a distância do pêndulo ao sensor em intervalos de 100 ms. As conexões entre o sensor e o arduino são mostradas na Figura 3:

Figura 3: Ligação entre o Arduino e o sensor HCSR-04.

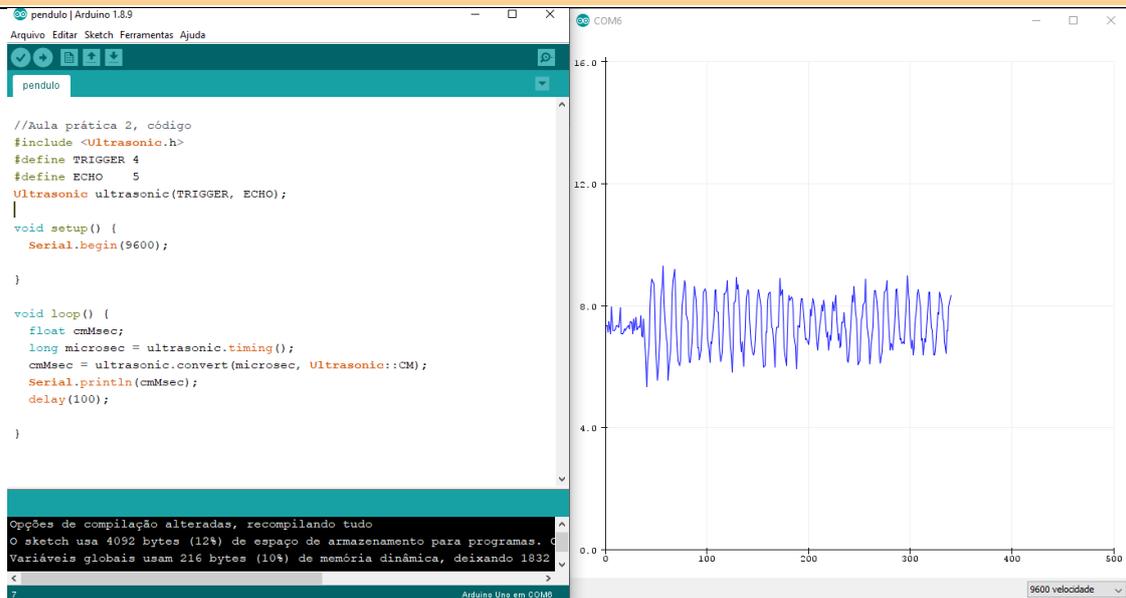


Fonte: (ADMIRAL, et. al. 2018).

Uma vez montado o circuito, conforme a Figura 3, basta alinhar o sensor com o pêndulo para iniciar as medições. É importante que o ambiente esteja livre de fatores que perturbem a oscilação, como o vento, e o ângulo de abertura para oscilações seja pequeno para melhorar a precisão.

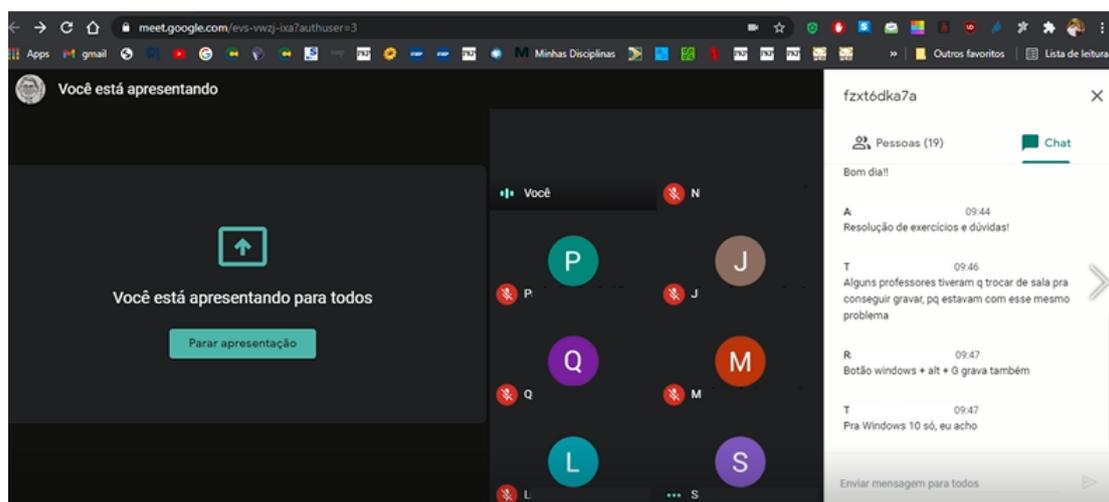
Para a aplicação da metodologia primeiramente, foi necessário explicar o objetivo da atividade, apresentar o equipamento e fazer uma breve demonstração de como o programa funcionava. Os alunos acompanharam, em tempo real, a curva dos dados de distância, sendo plotados no monitor serial do arduino. A tela da demonstração pode ser vista na Figura 4:

Figura 4: Tela da programação e dados no monitor serial do arduino.



Vale ressaltar que essa etapa de demonstração do problema a ser estudado, bem como a apresentação do equipamento, é tal como geralmente é feita de maneira presencial. Para a etapa de coleta de dados, foi necessário dividir a turma em quatro grupos, e, como a turma tem 19 alunos, foram formados três grupos de cinco alunos e um grupo com quatro alunos. Na Figura 5, mostra-se um *print* da tela da sala de aula no início da atividade, e as identidades dos alunos foram apagadas para preservar a privacidade dos participantes.

Figura 5: Início da aula da atividade com os alunos.



Para cada grupo, o professor amarrou o barbante do pêndulo em alturas diferentes e realizou a coleta de dados, cujos alunos acompanhavam os dados numéricos e o movimento do pêndulo. Ao final das medições, o professor enviou os dados, em formato Excel, aos alunos. Para favorecer o debate e a investigação (BRITO e FIREMAN, 2018), o professor forneceu apenas essas informações, e não explicou aos alunos como deveriam fazer os cálculos. Cada grupo teve de calcular qual era o tamanho aproximado do barbante, enquanto o professor conferia o resultado em tempo real.

## 4. Resultados e discussões

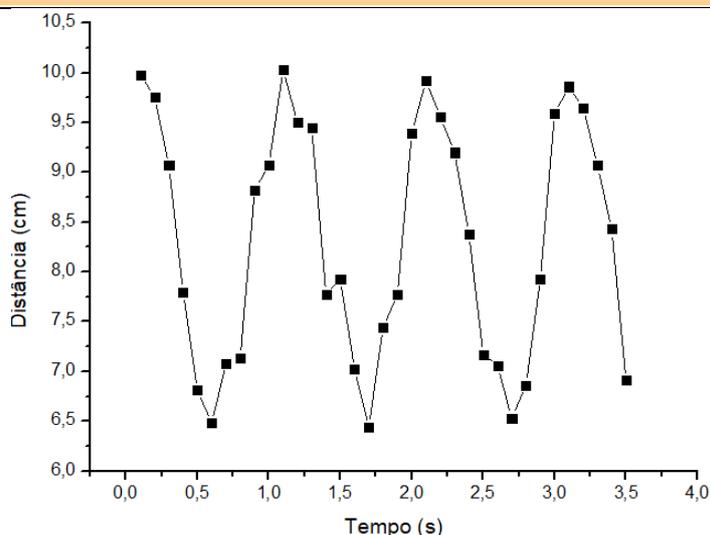
### 4.1 Resultados experimentais

Enumerando os grupos como G1, G2, G3 e G4, os comprimentos dos barbantes eram, respectivamente, **30,0 cm**, **25,0 cm**, **20,0 cm** e **12,0 cm**. Os grupos G1, G2 e G4 utilizaram o próprio programa do Excel para tratar os dados. Já o G3 fez uma contagem manual dos intervalos de máximo e mínimo e utilizou a calculadora para obter o valor do comprimento.

Parte da atividade consistiu em os alunos perceberem, por conta própria, como obter o valor do comprimento do pêndulo. As informações que eles tinham eram a equação (1) e os dados do arduino.

Como um exemplo, podemos apresentar os dados do G2, que foram os com menor erro relativo e estão ilustrados no gráfico 1:

Gráfico 1: Dados do pêndulo do grupo G1.



Com base no gráfico 1, os alunos do G2 realizaram o seguinte procedimento: contaram quantas medidas, em média, eram realizadas entre dois intervalos de máximo do gráfico; a contagem do número de medidas realizadas indicava qual era o intervalo de tempo entre esses pontos e, por sua vez, o período do movimento.

No caso do G2, o número médio de medidas entre os máximos atingiu dez medidas, como o intervalo entre cada medida é de **100 ms**, então o período do pêndulo foi, aproximadamente, de **1,0 s**.

Com base nesse resultado, eles utilizaram a equação (1), substituindo o período encontrado experimentalmente e o valor da aceleração da gravidade como **9,8 m/s<sup>2</sup>**. Ante esse resultado, chegaram ao comprimento do barbante como **24,8 cm**. O resultado experimental obtido por todos os grupos, bem como o erro percentual relativo (CABRAL, 2004), é mostrado na tabela 1:

Tabela 1: Resultados encontrados pelos grupos.

	Valor esperado (cm)	Valor medido (cm)	Erro percentual relativo (%) <sup>1</sup>
G1	35,0	34,3	2,0
G2	25,0	24,8	0,8
G3	20,0	19,7	1,5
G4	12,0	11,8	1,7

<sup>1</sup> Fórmula do erro percentual relativo:  $\left| \frac{\text{valor medido} - \text{valor verdadeiro}}{\text{valor verdadeiro}} \times 100 \right|$  (CABRAL, 2004, p. 12).

Podemos observar, com base na tabela 1, que todos os grupos, exceto o G2, obtiveram erros percentuais relativos entre 1,5% e 2,0%, que podemos considerar adequados para propósitos didáticos.

#### 4.2 Resultados da aprendizagem

No que diz respeito à aprendizagem, podemos destacar alguns pontos importantes, o primeiro dos quais diz respeito à escolha metodológica, que favoreceu a interação entre os alunos. Como mencionado anteriormente, Moreira (2003) evidencia o aspecto fundamental da interação, que Vygotsky considera o propulsor da construção do conhecimento.

Como cada grupo estava em uma sala separada, os alunos puderam interagir entre si e eventualmente chamar o professor para esclarecer dúvidas. Os grupos demoraram, em média, um total de 24 minutos para terminar os cálculos do comprimento do barbante. O grupo G4 foi o primeiro a acabar, seguido de G2, G3 e G1, respectivamente.

Para facilitar a análise da interação dos alunos, cada um dos grupos teve sua dinâmica de interação gravada e todos os grupos foram orientados a gravar a atividade utilizando um recurso nativo do próprio sistema operacional *Windows*<sup>®</sup>. E o arquivo foi disponibilizado ao professor posteriormente.

Em cada um dos grupos, foi observado um comportamento comum em que um ou dois alunos assumem um papel de liderança nas discussões, enquanto os demais se comportam de maneira mais passiva em relação à atividade. No caso de G4, que foi o grupo com quatro integrantes, houve uma participação mais uniforme entre os integrantes.

À medida que o debate entre os alunos acontecia, percebíamos, com clareza, a construção de uma metodologia para a realização dos cálculos. Como mencionado por Moreira (2003), a interação entre os alunos, que ocorreu de maneira natural, foi o fator principal para decidir o que deveria ser feito. A transcrição das falas de três alunos do G1 pode exemplificar essa conclusão:

*Aluno 1: "Se agente já tem a fórmula fica fácil [...] só conseguir pegar o T (referindo-se ao período)".*

*Aluna 2: "Se somasse tudo dentro da curva... dentro do período... dava certo".*

*Aluno 1: "Somar tudo até um ponto que repete".*

*Aluna 3: "Multiplicar então..."*

*Aluno 1: "Só ver quantas vezes e multiplicar então, pra achar o T (novamente se referindo ao período)."*

Dessa forma, a interação entre os alunos que compartilham dos mesmos signos e instrumentos de comunicação possibilitou a troca de ideias e, conseqüentemente, a construção de um novo conhecimento. Percebemos também que, deixando que os próprios alunos pesquisassem como fariam o cálculo do comprimento, a atividade também viabilizou a investigação (BRITO; FIREMAN, 2018).

De maneira geral, podemos considerar que os alunos participaram de forma ativa, acompanhando a coleta de dados, embora o professor manipulasse o equipamento. Os próprios alunos, ao receberem os dados, fizeram a dedução da metodologia para o cálculo do comprimento, trataram esses dados e chegaram às suas conclusões.

## 5. Considerações finais

Ao analisarmos a dinâmica da aula, associada aos relatos dos alunos sobre a aprendizagem, podemos afirmar que a experiência realizada de forma remota obteve sucesso nos seus objetivos de aprendizagem.

Essa afirmação pode ser suportada pelo fato de que o experimento oportunizou aos alunos a apresentação ao equipamento, a visualização do fenômeno, o acompanhamento da coleta de dados, o acesso aos dados do experimento e, por sua vez, a análise desses dados. Pensando nas classificações sobre experimentos demonstrativos ou quantitativos, apresentadas anteriormente, concluímos que o nível de interação dos alunos com a atividade experimental, mesmo que de forma remota, possa classificar essa atividade experimental como o segundo tipo.

Como benefícios subjacentes à proposta que foi trabalhada, podemos mencionar o engajamento dos alunos com a atividade. O grupo demonstrou bastante interesse em participar da atividade e descobrir o comprimento do pêndulo em cada grupo. Podemos afirmar isso baseados nos relatos dos alunos que apontam essa direção.

Podemos ainda concluir que a prática apresentou uma grande praticidade em sua elaboração e aplicação, visto que a parte mais trabalhosa é apenas a montagem e configuração, o que pode ser feito com bastante antecedência à aula. Para melhorarmos os resultados, aconselhamos que se executem vários testes antecipadamente, pois pequenos detalhes, como a oscilação do pêndulo em um plano diferente daquele da leitura do sensor, podem atrapalhar a aquisição dos dados no momento da aula. Entretanto, são necessários poucos testes para obter bons dados experimentais.

## Referências

- ADMIRAL, T. D., JÚNIOR, E. R., LINHARES, M. P. Utilização de Arduino como motivador no ensino de física para alunos de graduação em matemática. **Revista Espacios**. V. 39, n. 52, 15, 2018.
- ARAÚJO, M. S. T., 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, junho 2003.
- BARBOSA, A. C. C., CARVALHAES, C. G., COSTA, M. V. T. Computação numérica como ferramenta para o professor de Física do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, p. 249-254, (2006).
- BRITO, L. O., FIREMAN, E. C. Ensino de ciências por investigação: uma proposta didática “para além” de conteúdos conceituais. **Experiências em Ensino de Ciências**. v. 13, n. 5, 2018.
- CABRAL, P. **Erros e Incertezas nas Medições**. IEP – Instituto Eletrotécnico português- Laboratório de metrologia e ensaios. 2004. Disponível em <http://www.peb.ufrj.br/cursos/ErrosIncertezas.pdf>. Acesso em 14 de junho de 2021.
- CARDOSO, D. C., TAKAHASHI, E. K. Experimentação remota em atividades de ensino formal: um estudo a partir de periódicos Qualis A. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 11, n. 3, 2011.
- CARVALHAES, C. G., SUPPES, P. O cálculo de alta precisão do período do pêndulo simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 2, 2701, 2009.
- CABRAL, P. **Erros e Incertezas nas Medições**. IEP – Instituto Eletrotécnico português- Laboratório de metrologia e ensaios. 2004.

- HALLIDAY, D. RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica**. v. 2, 10. ed., Rio de Janeiro : LTC, 2016.
- HECK, C. et al. Experiência de integração da experimentação remota no ensino de física do ensino médio: percepção dos alunos. **Novas Tecnologias da Educação**. v. 14, n. 2, 2016.
- HERNÁNDEZ, A. G. Using a large amplitude pendulum in a learning cycle strategy. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1286 012036, 2019.
- LOPES, F. S., SUAVE, R. N., NOGUEIRA, J. A. Uma revisão das aproximações lineares para grandes amplitudes de oscilações do período de um pêndulo simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, e3313, 2018.
- MONTEIRO, M A. A. O uso de tecnologias móveis no ensino de física: uma avaliação de seu impacto sobre a aprendizagem dos alunos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 16, n. 1, 2016.
- MOREIRA, M. A.; CABALLERO, M. C.; RODRÍGUEZ, M. L. Aprendizaje significativo: un concepto subyacente. **Actas del encuentro internacional sobre el aprendizaje significativo**, v. 19, n. 44, p. 1-16, 1997.
- MOREIRA, M. A. Linguagem e aprendizagem significativa. In: **Conferência de encerramento do IV Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa**, Maragogi, AL, Brasil. 2003.
- OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. **Teorias de aprendizagem**. Porto Alegre: Evangraf, 2010.
- SILVA, H. C., WEISS, K. W., VIEGAS, G. Produção de conhecimentos sobre ensino de física na modalidade a distância: tendências, lacunas, novas questões. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 2: p. 708-728, 2012.
- SOUZA, P. P. F. CORRALLHO, M. V. O uso da experimentação remota em apoio à mediação durante aulas de Física. **Revista Tecnologias na Educação**. v. 29, n. 11, 2019.
- SUAVE, R. N., NOGUEIRA, J. A. Uma discussão sobre as aproximações na determinação do período máximo de um pêndulo simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 2, e2501, 2016.