

ESPECTROSCOPIA NO ENSINO DE FÍSICA: INTERFACES ENTRE EXPERIMENTAÇÃO ACESSÍVEL E FÍSICA CONTEMPORÂNEA

Spectroscopy in physics teaching: interfaces between accessible experimentation and contemporary physics

Isaias Siebert dos Santos [siebertisaias@gmail.com]

Emerson Luiz Lapolli [emerson.lapolli@ifc.edu.br]

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense - Campus Rio do Sul
R. Abraham Lincoln, 210 - Jardim América, Rio do Sul - SC, 89160-202*

Recebido em: 03/03/2026

Aceito em: 04/09/2026

Resumo

Este trabalho investiga a eficácia de sistemas de espectrometria de baixo custo na medição de espectros de emissão de Hélio (He), em um contexto de formação de professores. O objetivo geral foi comparar a precisão de diferentes softwares de espectrometria e avaliar a aplicabilidade didática do aparato como alternativa a experimentos de alto custo. A metodologia envolveu a construção de dois espectrômetros caseiros e a comparação da medição do espectro de He utilizando os softwares Tracker e Theremino Spectrometer, com os resultados validados contra valores de referência do NIST. Os resultados demonstraram a viabilidade técnica de ambos os métodos, com o Erro Percentual mantendo-se consistentemente abaixo de 7%. Contudo, a análise comparativa indicou que o Tracker oferece maior coerência e estabilidade nas medições, enquanto o Theremino apresentou maior volatilidade. Em conclusão, os métodos se mostram como uma proposta de alta replicabilidade e flexibilidade curricular, sendo uma alternativa viável e eficaz a experimentos de alto custo e infraestrutura complexa. A análise do erro percentual e a discussão das fontes de erro tornam-se um objeto de análise fundamental para o desenvolvimento do senso investigativo dos estudantes.

Palavras-chave: Física Contemporânea; Ensino de Física; Espectroscopia.

Abstract

This work investigates the effectiveness of low-cost spectrometry systems in measuring Helium (He) emission spectra in a teacher training context. The overall objective was to compare the accuracy of different spectrometry software and evaluate the didactic applicability of the apparatus as an alternative to high-cost experiments. The methodology involved the construction of two homemade spectrometers and the comparison of He spectrum measurements using Tracker and Theremino Spectrometer software, with the results validated against NIST reference values. The results demonstrated the technical feasibility of both methods, with the Percent Error consistently remaining below 7%. However, the comparative analysis indicated that Tracker offers greater consistency and stability in measurements, while Theremino presented greater volatility. In conclusion, the methods show themselves as a highly replicable and curricularly flexible proposal, being a viable and effective alternative to high-cost experiments and complex infrastructure. The analysis of the percentage error and the discussion of the error sources become a fundamental object of analysis for the development of students' investigative sense.

Keywords: Contemporary Physics; Physics Teaching; Spectroscopy.

1. Introdução

A dificuldade em realizar aulas práticas, especialmente devido à falta de materiais e à inexistência de laboratórios, é um problema recorrente no ensino de ciências, o que reforça a necessidade de buscar soluções criativas e acessíveis para promover a formação científica dos alunos (Cavalcante, M. F., Vilar, E. L. S., & Costa, J. B. V., 2013). Nesse contexto, a exigência de materiais de alto custo e a carência de equipamentos para espectroscopia têm impulsionado buscas inovadoras, nas quais os materiais de baixo custo podem suprir essas ineficiências. A espectroscopia é fundamental para a compreensão da interação entre luz e matéria e a estrutura da matéria. Contudo, em resposta a essa limitação e à necessidade de tornar o aprendizado mais concreto e engajador, como nos mostra Jesus, J. J., Oliveira, A. F., & Silva, A. P. (2021) “o uso de espectroscópico de baixo custo como uma estratégia para o ensino do espectro eletromagnético vem sendo apresentado em diversos trabalhos relacionados ao ensino de Física.”. A espectroscopia possui uma utilização interdisciplinar, vejamos o que diz Barros, L. G., Assis, A., & Langhi, R. (2016):

Dado o grande potencial interdisciplinar, a espectroscopia pode constituir uma rica sequência didática no ensino de Astronomia, interagindo diretamente com conteúdos de outras áreas, como por exemplo, da Física Moderna e da Química.

Este trabalho é fruto da disciplina Laboratório de Física Moderna (LFM) do curso de Licenciatura em Física (LF) do Instituto Federal Catarinense - Campus Rio do Sul (IFC) no 2º semestre do ano de 2024, foi realizado uma série de experimentos desde a determinação do comprimento de onda do vermelho a partir de lasers e redes de difração com parâmetros pré definidos (500 linhas/mm e 1000 linhas/mm), a determinação de parâmetro de redes do *Compact Disc*¹ (CD) e do *Digital Versatile Disc*² (DVD). Além disso, trabalhos como os de Gatikine P., Zimmerman G. & Warner E. (2019) e Pimenta A. & Silva L. B. S. (2022) reforçam a viabilidade técnica e pedagógica de sistemas espectrométricos acessíveis, incluindo abordagens automatizadas e o uso de softwares para aquisição e tratamento de dados.

No contexto experimental, a observação das linhas espectrais requer dispositivos capazes de dispersar a luz de maneira controlada. Grades de difração, como as encontradas na superfície de CDs e DVDs, funcionam como elementos dispersores eficazes. A separação angular da luz depende do parâmetro de rede da grade, ou seja, a distância entre as trilhas. Esse parâmetro pode ser determinado experimentalmente utilizando um laser de comprimento de onda conhecido e aplicando a equação da difração.

A partir dessa caracterização, torna-se viável a construção ou adaptação de espectroscópios em **espectrômetros de baixo custo** para o registro e a análise quantitativa de espectros de emissão de fontes como lâmpadas de descarga. O uso de softwares livres é crucial para a etapa de espectrometria (medição de espectros). O *Tracker* (Brown, 2025), um software de análise de vídeo amplamente utilizado em física, permite a calibração e a medição de comprimentos de onda a partir da imagem do espectro. Paralelamente, o *Theremino Spectrometer* (Theremino, 2025) é um software dedicado especificamente à análise espectral, oferecendo ferramentas para a identificação e a quantificação das linhas. A aplicação desses softwares permite a medição dos comprimentos de onda, possibilitando a identificação de elementos como hélio (He) e mercúrio (Hg) com boa concordância teórica.

A utilização do espectrômetro caseiro estabelece uma estratégia para a transposição didática dos conceitos de FMC. Paralelamente ao desenvolvimento desta pesquisa, uma Atividade Prática Supervisionada (APS) foi implementada no decorrer da disciplina, servindo como contexto para a aplicação e avaliação do método. Esta metodologia, caracterizada por sua flexibilidade curricular,

¹ Compact Disc - Disco Compacto.

² Digital Versatile Disc - Disco Versátil Digital. Pode ser chamado também de Digital Video Disc - Disco de Vídeo Digital.

permite uma adaptação a distintos níveis de ensino: no Ensino Médio (EM), oferece uma abordagem fenomenológica para a assimilação de fenômenos ópticos e dos princípios da quantização de energia; no Ensino Superior (ES), serve como plataforma para o aprofundamento conceitual e a introdução a práticas laboratoriais mais sofisticadas e à instrumentação tecnológica. Em ambos os domínios, o método potencializa o desenvolvimento de habilidades investigativas, fomenta a participação ativa e reflexiva dos estudantes, consolidando-se como um recurso didático de baixo custo e elevado impacto formativo.

Diante do potencial da instrumentação de baixo custo, o objetivo geral deste trabalho é comparar a eficácia de diferentes sistemas de espectrometria na medição de espectros de emissão de He, e avaliar a aplicabilidade do aparato em diferentes níveis de ensino. Para tanto, buscam-se dois objetivos específicos: (1) validar os aparatos de espectrometria de baixo custo, comparando os resultados obtidos por diferentes softwares (*Tracker* e *Theremino Spectrometer*) com os dados de referência; (2) demonstrar a viabilidade da substituição de experimentos de alto custo por procedimentos simples e acessíveis, fortalecendo a prática experimental em contextos com infraestrutura limitada.

2. Metodologia

Os experimentos foram desenvolvidos por 02 acadêmicos do curso de LF na disciplina de LFM do IFC - Campus Rio do Sul, no ano de 2024. Os acadêmicos realizaram uma série de experimentos, desenvolvendo a sua interação com a prática e a teoria, com supervisão do professor da disciplina. Os experimentos foram determinação do comprimento de onda dos lasers com redes de difração conhecidas, determinação do parâmetro de rede dos discos ópticos, a verificação do comprimento de onda do He e Hg com software livre e determinação dos comprimentos de ondas das respectivas lâmpadas com o espectroscópio goniômetro. Todavia, neste trabalho vamos focar somente nos parâmetros do **CD** e nos comprimentos de ondas do **He**. Inicialmente, determinou-se os parâmetros da rede de difração presentes no CD, utilizando o comprimento de onda padrão do vermelho. A metodologia é baseada na variação da distância entre o laser e os discos ópticos. Essa abordagem fundamenta-se nos princípios da óptica física, particularmente na equação da difração 1:

$$d \sin\theta = n\lambda \quad (1)$$

onde d é a distância entre as linhas da rede de difração, θ (theta) é o ângulo de difração, n é a ordem do máximo de intensidade e λ (lambda) é o comprimento de onda da luz incidente. Ao aumentar a distância entre a fonte de luz (laser) e a rede de difração, os máximos de intensidade tornam-se mais espaçados, permitindo uma medição mais precisa dos ângulos de difração Figura 1.

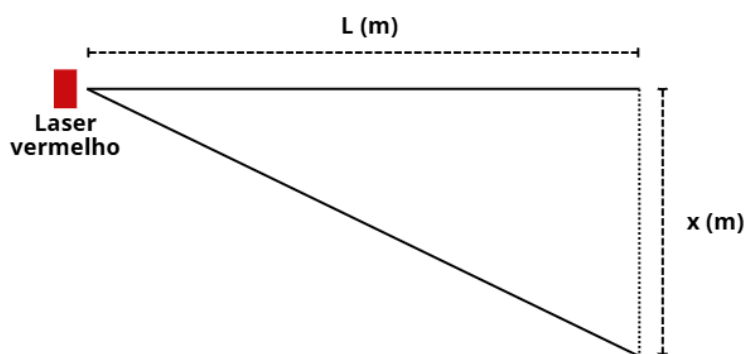


Figura 1 - Esquema da abordagem experimental. Fonte: os autores.

Com isso, realizamos as medições das dimensões da distância (L) da fonte luz até o anteparo e distância (x) entre o ponto central e o máximo de 1ª ordem. Conhecendo os valores, utilizamos o teorema de Pitágoras, obtendo a equação para o cálculo do parâmetro de rede d (2) e para o cálculo do comprimento de onda (3):

$$d = \lambda \frac{\sqrt{x^2 + L^2}}{x} \quad (2)$$

$$\lambda = d \frac{x}{\sqrt{x^2 + L^2}} \quad (3)$$

Os comprimentos de onda da luz emitida pelo He foram determinados utilizando os softwares, em um experimento que consistiu na incidência de luz emitida por uma lâmpada de hélio sobre uma fenda estreita.

Na sequência, foram realizadas medições dos comprimentos de onda dos espectros de emissão do He, utilizando lentes de CDs, uma câmera *webcam* e dois sistemas distintos de espectrometria. O primeiro sistema corresponde a um **espectroscópio adaptado**, doravante denominado Espectrômetro 1. O segundo consiste em um **espectrômetro construído**, doravante denominado Espectrômetro 2. A aquisição e a análise dos dados experimentais foram realizadas com o auxílio dos *softwares Tracker* e *Theremino Spectrometer*, possibilitando a comparação entre diferentes metodologias de análise.

2.1 Espectrômetro 1

O Espectrômetro 1 (Figura 2) consiste na adaptação de um espectroscópio simples para a realização de medições de espectros de emissão, configurando-o como um espectrômetro. Nessa configuração, para a análise dos dados no *software Tracker*, a calibração do sistema foi realizada a partir do comprimento da fenda (utilizado como referência), bem como o uso do valor do parâmetro de rede previamente determinado (equação 2) para o CD, bem como a equação 3 para o cálculo dos comprimentos de onda associados às linhas espectrais observadas.



Figura 2 - Espectrômetro 1. Onde: a) Estrutura externa mostrando o posicionamento do CD; b) Configuração experimental do sistema, mostrando a lâmpada espectral posicionada diante da fenda, a câmera *webcam* e o CD à frente da câmera; c) Interface do *software Tracker* utilizada na análise dos dados, com destaque para os parâmetros inseridos e a expressão para a determinação do comprimento de onda; d) Vista frontal do arranjo experimental. Fonte: os autores.

O princípio de funcionamento do Espectrômetro 1 aqui mostrado baseia-se na proposta de Cavalcante M. A. & Tavoraro C. R. (2018), que detalha o uso do *software Tracker* para a análise espectrométrica de lâmpadas, a partir de dados obtidos por um espectroscópio caseiro. No *Tracker*, (Figura 2b) definiram-se os parâmetros geométricos e o da rede (equação 2), utilizada para converter as posições dos picos em comprimentos de onda (equação 3). A partir disso, o *software* gera o gráfico.

2.2 Espectrômetro 2

O Espectrômetro 2 (Figura 3) foi construído baseado no modelo proposto por Gatkine P., Zimmerman G. & Warner E. (2019) com materiais recicláveis. Para a análise espectrométrica, utilizou-se o *software Theremino Spectrometer*, com o CD fixado à câmera *webcam*. A medição foi realizada em tempo real, sendo a calibração do sistema baseada nos comprimentos de onda conhecidos do Hg. Após a calibração, o espectro do He foi medido, permitindo a identificação das linhas espectrais características.

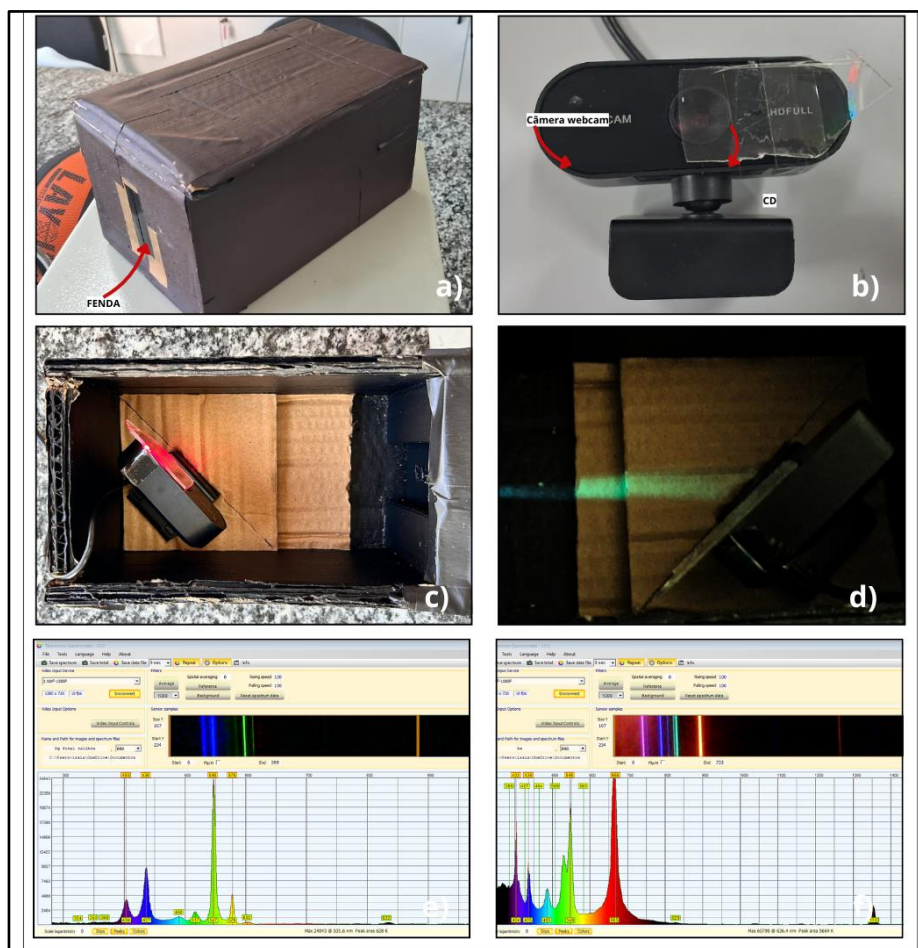


Figura 3 - Espectrômetro caseiro. Onde: a) Perfil do espectrômetro; b) Imagem da câmera com o CD na frente; c) Foto panorâmica, tendo um laser vermelho indicando a localização do CD na câmera; d) Imagem com a luz de incidência com destaque; e) Imagem da calibração do *Theremino* utilizando as linhas espectrais de Hg; d) Espectro do He obtido no *Theremino* após a calibração. Fonte: os autores.

Esses procedimentos metodológicos, nos permitem comparar os valores experimentais com aqueles previstos teoricamente (tabelados), e realizar o cálculo do Erro Percentual (E %).

Após essas medições, foram realizadas comparações entre os valores experimentais e os valores teóricos encontrados no NIST³ *Atomic Spectra Database*⁴ para o He (National Institute of Standards and Technology, 2024). O NIST é reconhecido por suas bases de dados de alta confiabilidade, como o *Atomic Spectra Database*, que reúne valores precisos de comprimentos de onda, energias de transição, níveis eletrônicos e intensidades espectrais de diversos elementos químicos. Essas informações são utilizadas como valores de referência para a calibração de instrumentos, validação de resultados experimentais e comparação entre dados teóricos e experimentais. Devido ao rigor metrológico adotado e à constante atualização de suas bases, os dados disponibilizados pelo NIST são considerados padrão internacional, sendo amplamente empregados em atividades de pesquisa científica e aplicações tecnológicas que exigem elevada precisão e confiabilidade.

³ National Institute of Standards and Technology - Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia.

⁴ Atomic Spectra Database - Banco de Dados de Espectros Atômicos.

3. Resultados

A discussão dos resultados é organizada em três etapas principais: a medição do parâmetro de rede, a análise dos espectros de emissão e a discussão das discrepâncias observadas entre os valores experimentais e os dados de referência dos experimentos 1 e 2, respectivamente.

A etapa inicial do experimento consistiu na determinação do parâmetro de rede do CD utilizando um laser vermelho com comprimento de onda nominal de 650 nm. Os valores experimentais obtidos para o parâmetro de rede, bem como os resultados intermediários associados ao processo de calibração do sistema, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Medidas para o parâmetro de rede do CD.

L	x	Parâmetro de rede (d)	d (m)
0,2	0,0993	1,47E-06	1,45E-06
0,205	0,1039	1,44E-06	
0,21	0,1057	1,45E-06	
0,215	0,1076	1,46E-06	
0,22	0,1098	1,46E-06	
0,225	0,1116	1,47E-06	
0,23	0,1131	1,48E-06	

Fonte: os autores.

O parâmetro de rede (d) do CD foi determinado a partir das medidas apresentadas na Tabela 01, utilizando a equação 2. Para a primeira ordem de difração, o parâmetro de rede foi obtido a partir da relação entre o comprimento de onda da luz incidente (λ) e o seno do ângulo de difração ($\sin\theta$), sendo este último determinado experimentalmente por meio da equação 2. Para cada par de valores (x, L), foi possível determinar individualmente um valor do parâmetro de rede (d). Em seguida, os valores de foram relacionados linearmente com os comprimentos de onda da luz incidente, considerando o valor teórico do comprimento de onda do laser vermelho (650 nm). Assim sendo, foi possível estimar o parâmetro de rede do CD, resultando no valor médio de $d = 1,45 \times 10^{-6}$ m.

Com o valor do parâmetro de rede estabelecido, realizou-se à medição das posições das linhas espectrais visíveis das lâmpadas de He. A Figura 4 mostra o padrão de linhas espectrais obtidas nos Experimentos 1 e 2, utilizando os softwares *Tracker* e *Theremino* respectivamente.

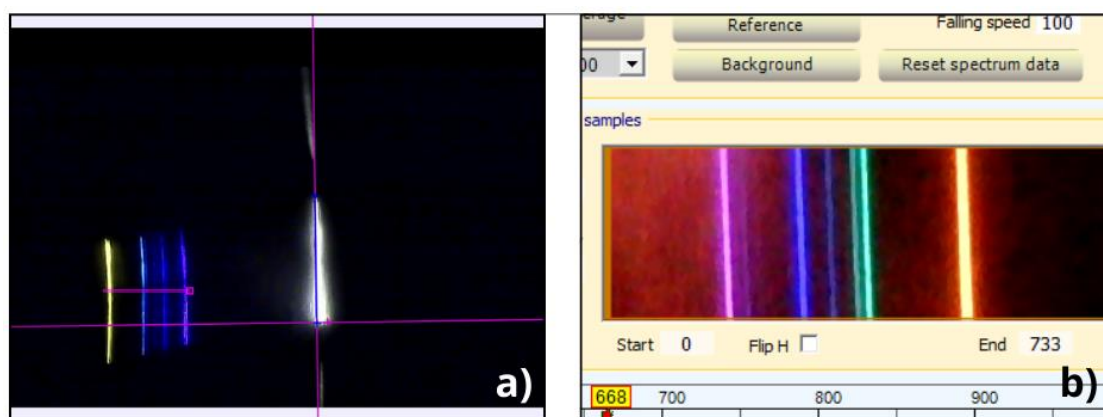


Figura 4 - Linhas espectrais do He. Onde: a) Imagem do sistema *Tracker*; b) Imagem obtida no *Theremino Spectrometer*. Fonte: os autores.

Na Figura 4a, a análise dos espectros obtidos no Espectrômetro 1, depende do valor do parâmetro de rede e das medidas geométricas do sistema, conforme detalhado na Seção 2.1. A análise quantitativa e comparativa entre os dados coletados e os tabelados está sumarizada na Figura 5.

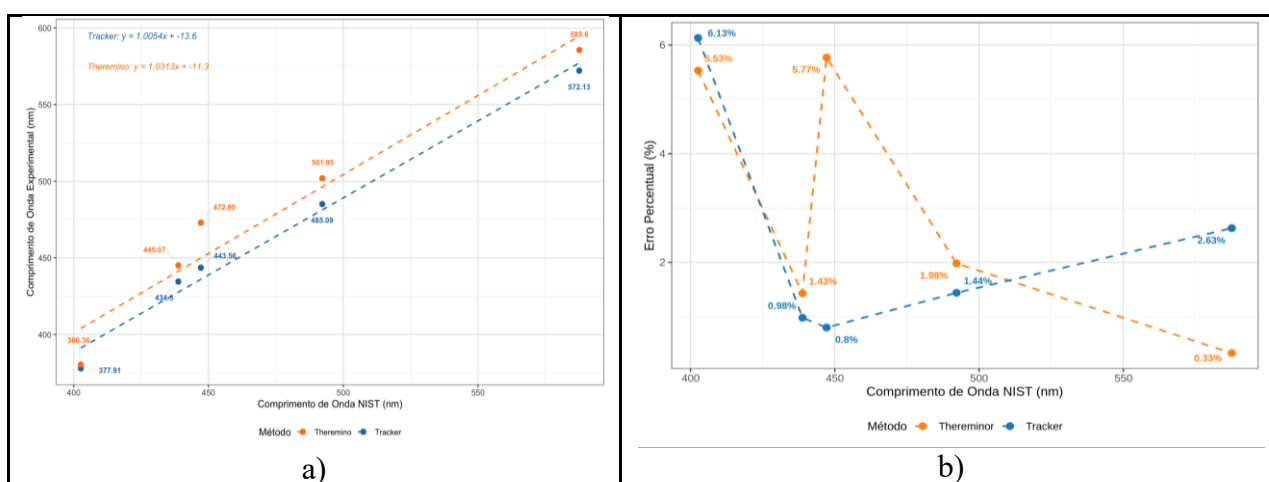


Figura 5 - Valores experimentais x valores tabelados. Onde: a) Gráfico dos valores experimentais X valores tabelados. b) Gráfico do E% X valores tabelados. Fontes: os autores.

A Figura 5a, apresenta a relação direta entre os Valores Experimentais (nm) em função dos Valores Tabelados (nm), para as metodologias *Tracker* (linha azul) e *Theremino* (linha laranja). A proximidade do coeficiente angular de 1,00 é um indicador da baixa incerteza do método. Neste sentido, o *Tracker* (1,0054) demonstra uma relação mais linear e suave, com um coeficiente angular significativamente mais próximo da unidade do que o *Theremino* (1,0313). O maior desvio do coeficiente angular do *Theremino*, juntamente com a maior dispersão dos pontos experimentais em relação à reta de ajuste, indica uma maior variabilidade e incerteza nas medições ao longo da faixa espectral analisada.

A Figura 5b, ilustra o E% em função dos Valores Experimentais (nm). Ele fornece uma análise direta da coesão de cada método. O *Tracker* (linha azul) aponta um E% mais baixo e estável na faixa de 400 nm a 500 nm atingindo seu mínimo no ponto 0,80% (443,56 nm), sugerindo maior precisão nesta região do espectro. A tendência do erro para o *Tracker* é de um aumento gradual após 450 nm. Por outro lado, o *Theremino* (linha laranja) apresenta uma tendência de erro muito mais volátil. Embora atinja o menor erro absoluto de 0,33% em valores experimentais altos (587 nm), ele também exibe um erro máximo de 5,77% (470 nm). Esta alta flutuação no E% do *Theremino* implica um maior desvio em comparação com o *Tracker* e também uma menor consistência no método. Nota-se que o E% em ambos métodos, estão abaixo de 7%.

4. Considerações finais

A presente investigação demonstrou a viabilidade técnica e a eficácia da utilização de espectrômetros de baixo custo para a medição de espectros de emissão do He. O foco principal do estudo foi a comparação da espectrometria realizada por dois *softwares* distintos, *Tracker* e *Theremino Spectrometer*, em um contexto de formação de professores.

A análise dos resultados revelou que ambos os métodos fornecem dados compatíveis com aplicações didáticas, apresentando E% sistematicamente inferior a 7% em relação aos valores de referência do NIST. Essa condição evidencia que, mesmo com instrumentação simples e acessível, é possível obter resultados experimentalmente coerentes. No entanto, a análise comparativa detalhada das taxas de erro indicou diferenças significativas entre os métodos. O *Tracker* apresentou menor dispersão dos valores experimentais, maior estabilidade ao longo da faixa espectral analisada e erros percentuais mais homogêneos, caracterizando um comportamento sistematicamente mais previsível.

Essa superioridade foi corroborada pela análise de regressão linear entre os valores experimentais e tabelados (gráfico 1a), na qual o *Tracker* apresentou coeficiente angular de (1,0054), valor significativamente mais próximo da unidade quando comparado ao *Theremino Spectrometer* (1,0313). Tal resultado indica que o *Tracker* possui menor incerteza associada ao processo de medição, estabelecendo-se como o método mais confiável dentre os sistemas de espectrometria de baixo custo investigados neste trabalho.

Por outro lado, o *Theremino Spectrometer* apresentou maior volatilidade nas taxas de erro, com oscilações mais acentuadas entre diferentes comprimentos de onda, embora tenha atingido baixos erros pontuais (gráfico 1b). Essa variabilidade sugere a presença de fontes de incerteza ainda pouco compreendidas, o que é consistente com o fato de o *Theremino* ser um *software* ainda pouco explorado na literatura sobre espectrometria de baixo custo. Assim, seus resultados, embora promissores, indicam a necessidade de investigações adicionais para a caracterização de suas limitações e potencialidades.

Sob a perspectiva da aplicação didática, ambos os sistemas demonstram replicabilidade e flexibilidade curricular. A utilização de materiais acessíveis e *softwares* livres permite sua implementação como alternativa viável a experimentos de alto custo, frequentemente dependentes de infraestrutura laboratorial complexa. Nesse sentido, os aparatos analisados possibilitam a transposição didática para o Ensino Médio, favorecendo uma abordagem fenomenológica da quantização de energia, e para o Ensino Superior, onde podem servir como base para o aprofundamento conceitual, a discussão de incertezas experimentais e a introdução à instrumentação científica.

As futuras pesquisas incluem a investigação das causas da maior volatilidade do *Theremino*, as taxas de incertezas de cada procedimento, visando aprimorar a precisão e consolidar a integração da pesquisa e do ensino.

5. Referências bibliográficas

Barros, L. G., Assis, A., & Langhi, R. (2016). Proposta de construção de espectroscópio como alternativa para o ensino de Astronomia. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. Acesso em 25 abr. 2025, <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p1026>.

Brown, D. (jul. 2025). Tracker video analysis and modeling tool (Version 6.3.2) [Computer software]. <https://physlets.org/tracker/>.

Cavalcante, M. A. & Tavolaro, C. R. C. (2018). ESPECTROSCOPIA COM NOVAS TECNOLOGIAS: O TRACKER COMO FERRAMENTA. *Revista Do Professor De Física*. Acesso em 18 dez. 2025, <https://doi.org/10.26512/rpf.v2i3.19962>.

Cavalcante, M. F., Vilar, E. L. S., & Costa, J. B. V. (2013). Fatores que dificultam o uso da prática laboratorial no ensino de biologia como indicador na formação científica dos alunos do ensino médio. *Revista Ambientale – UNEAL*. Acesso em 18 dez. 2025, <https://periodicosuneal.emnuvens.com.br/ambientale/article/view/51>.

Gatkine, P., Zimmerman, G., & Warner, E. (2019). A Do-it-yourself Spectrograph Kit for Educational Outreach in Optics and Photonics. *SPIE Proceedings*. Acesso em 09 set. 2025, <https://arxiv.org/abs/1905.13242>.

Jesus, J. J., Oliveira, A. F., & Silva, A. P. (2021). Espectrômetro digital. Uma proposta de construção de um experimento de Física Moderna para o ensino remoto. *Research, Society and Development*, 10(8), e51410817786. Acesso em 08 ago., 2025, https://www.researchgate.net/publication/353323329_Espectrometro_digital_Uma_proposta_de_construcao_de_um_experimento_de_Fisica_Moderna_para_o_ensino_remoto.

Pimenta, A., & Silva, L. B. S. da. (2022). Espectroscopia Óptica Automatizada de Lâmpadas de Vapor de Gases em Alta Pressão para Utilização Didática de Baixo Custo. *Experiências em Ensino de Ciências*. Acesso em 25 abr. 2025, <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/1027>.

National Institute of Standards and Technology. (2024). NIST Atomic Spectra Database (Version 5.12). <https://physics.nist.gov/asd>.

Theremino. (2025). Theremino spectrometer [Computer software]. <https://www.theremino.com/en/downloads/theremino-spectrometer>.