

PROPOSTA DE MANUAL DE CONSTRUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE ESPECTROSCÓPIO PARA O ENSINO DE FÍSICA

Lucas Leonardo Garcia Alves¹, Nicoli Rocha Santos², Ricardo Rechi Aguiar³

¹ Graduando em Licenciatura em Física, Bolsista CAPES, Instituto Federal de São Paulo Campus Votuporanga, garcia.alves@aluno.ifsp.edu.br

² Graduanda em Licenciatura em Física, Bolsista CAPES, Instituto Federal de São Paulo Campus Caraguatatuba, rochasantosnic@gmail.com

³ Docente e orientador, Instituto Federal de São Paulo Campus São Paulo, rechi@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 7.08.04.02-8 Métodos e Técnicas de Ensino

RESUMO: A espectroscopia é uma ferramenta essencial na física e na astronomia, permitindo a análise detalhada da luz emitida ou refletida por objetos celestes. Por meio do estudo de espectros, é possível determinar propriedades físicas e químicas de estrelas, galáxias e outros corpos astronômicos. Essa técnica baseia-se na decomposição da luz em seus diferentes comprimentos de onda, revelando linhas de emissão e absorção que são características únicas dos elementos químicos presentes. Essas linhas resultam de transições eletrônicas em átomos e moléculas, possibilitando a identificação da composição química, temperatura e outras propriedades dos objetos estudados. Com o objetivo de democratizar o ensino dessa técnica, estamos desenvolvendo um espectroscópio de baixo custo, utilizando materiais acessíveis, como lentes, redes de difração (ou CDs reciclados), estruturas feitas de papelão ou impressas em 3D, além de componentes eletrônicos controlados por Arduino Uno. O projeto visa criar um equipamento compatível com telescópios, capaz de captar espectros estelares com boa qualidade, proporcionando uma experiência prática que conecta teoria e experimentação. Essa iniciativa é especialmente valiosa para o ensino, pois permite experiências interativas em física e astronomia, incentivando o aprendizado investigativo e a popularização da ciência. Além disso, o espectroscópio está sendo projetado para viabilizar projetos de extensão em instituições de ensino, oferecendo um recurso acessível e eficiente.

PALAVRAS-CHAVE: Espectroscopia; Astronomia; Educação; Investigação científica

1 INTRODUÇÃO

A espectroscopia é uma técnica científica que estuda a interação entre a luz e a matéria, sendo indispensável para diversas áreas do conhecimento, especialmente na física e na astronomia. Essa técnica possibilita a análise da luz emitida, absorvida ou transmitida por substâncias, revelando informações sobre sua composição química, temperatura e outras propriedades físicas. Quando a luz é decomposta em seus comprimentos de onda constituintes, forma-se um espectro característico, composto por linhas de emissão e absorção que funcionam como "impressões digitais" dos elementos químicos presentes. Tais linhas resultam das transições eletrônicas entre níveis de energia nos átomos ou moléculas, permitindo identificar elementos em corpos celestes e materiais terrestres (Griffiths, 2007).

A teoria quântica oferece o embasamento para a espectroscopia ao descrever os processos de absorção e emissão de fótons. Os átomos absorvem luz apenas em comprimentos de onda específicos, promovendo elétrons a estados de energia mais elevados. Quando os elétrons retornam a níveis inferiores, emitem fótons que correspondem a energias quantizadas (Atkins e De Paula, 2010), essa relação é descrita pela equação (1).

$$E=h \cdot \nu \quad (1)$$

Na qual E é a energia do fóton, h é a constante de Planck e ν é a frequência da luz, explica por que diferentes elementos possuem espectros únicos.

Na astronomia, a espectroscopia é essencial para investigar corpos celestes a partir da análise de sua luz. As Linhas de Fraunhofer, descobertas por Joseph von Fraunhofer no início do século XIX, exemplificam como essas técnicas permitem identificar elementos químicos, como o hidrogênio e o hélio, em estrelas. Além disso, o efeito Doppler desempenha um papel central na espectroscopia astronômica, causando deslocamentos para o vermelho (redshift) ou azul (blueshift) nas linhas espectrais, conforme as fontes de luz se afastam ou se aproximam do observador. Essa ferramenta é fundamental para medir velocidades radiais, calcular distâncias e estudar a expansão do universo (Carroll e Ostlie, 2017).

Isaac Newton, em 1672, demonstrou que a luz branca podia ser decomposta em diversas cores ao passar por um prisma. Posteriormente, Fraunhofer e outros cientistas refinaram esses estudos, possibilitando o desenvolvimento de espectroscópios e abrindo caminho para uma análise detalhada da composição química de materiais e corpos celestes. Como afirmam Banwell e McCash (1994), durante o século XX, a espectroscopia expandiu-se para além da luz visível, com o surgimento de técnicas como a espectroscopia de infravermelho e a ressonância magnética nuclear, permitindo o estudo aprofundado de moléculas e materiais.

Hoje, a espectroscopia permanece indispensável, não apenas para a pesquisa científica avançada, mas também como uma ferramenta educacional. Propostas como a construção de espectroscópios de baixo custo tornam essa técnica acessível a escolas e universidades, permitindo que estudantes realizem experimentos práticos e compreendam conceitos fundamentais. Essa democratização do conhecimento científico

é essencial para formar novas gerações de pesquisadores e estimular o aprendizado interdisciplinar.

2 TEORIA

A espectroscopia é uma ciência fundamental que investiga a interação entre a luz e a matéria, desempenhando um papel central na compreensão das propriedades dos materiais. Quando a luz incide sobre um material, ela pode ser absorvida, transmitida ou refletida, resultando na formação de um espectro que revela informações únicas sobre a composição e as características dessa matéria (Sole, Bausá e Jaque, 2005). Cada substância apresenta padrões específicos de absorção e emissão de luz, possibilitando sua identificação e análise.

Por meio dessa capacidade, a espectroscopia se consolidou como uma ferramenta indispensável em análises qualitativas e quantitativas de materiais, com aplicações em áreas como química, física e astronomia. Entre os diversos métodos espectroscópicos, destacam-se a espectroscopia de absorção e a de emissão. Na espectroscopia de absorção, um feixe de luz atravessa uma amostra, e os comprimentos de onda absorvidos correspondem às transições eletrônicas específicas dos átomos ou moléculas presentes, fornecendo informações sobre sua composição química. Por outro lado, na espectroscopia de emissão, os átomos são excitados, geralmente por calor ou eletricidade, e liberam energia ao retornarem a estados de menor energia, emitindo luz em comprimentos de onda característicos. Essas técnicas também possuem grande potencial didático, permitindo uma abordagem prática para o ensino de conceitos de química, física e até astronomia. Silva e Pimenta (2022) demonstraram a viabilidade de métodos acessíveis, como o uso de espectroscopia óptica automatizada, para introduzir conceitos de espectroscopia em ambientes educacionais, destacando sua relevância na contextualização de princípios teóricos e sua aplicação prática. De acordo com Gregório – Hetem (2011, p.179), “A luz emitida pelos objetos astronômicos é o elemento chave para o entendimento da Astrofísica”.

O princípio que governa a interação entre a luz e a matéria está ancorado na teoria quântica. Cada átomo ou molécula absorve ou emite luz em quantidades discretas de energia, chamadas fótons. Essa energia está relacionada ao comprimento de onda da luz e depende das diferenças de energia entre os níveis eletrônicos das moléculas (Leite e Prado, 2012). Isso explica por que substâncias diferentes apresentam espectros distintos, pois a estrutura de cada material define quais comprimentos de onda serão absorvidos ou emitidos. Além dos princípios quânticos, o efeito Doppler também desempenha um papel crucial na espectroscopia, especialmente na astronomia. Esse efeito, que causa o deslocamento das linhas espectrais de um objeto em movimento, permite medir a velocidade com que estrelas e galáxias se afastam ou se aproximam da Terra. O redshift (deslocamento para o vermelho) e o blueshift (deslocamento para o azul) são evidências da expansão do universo, e seu estudo foi essencial para a compreensão moderna da cosmologia (Fernandes, 2016).

A história da espectroscopia começa com os experimentos de Isaac Newton em 1672, que demonstraram que a luz branca pode ser decomposta em várias cores ao passar por um prisma. Newton concluiu que a luz solar é composta por raios com diferentes refrangibilidades, e que cada cor corresponde a um ângulo distinto de refração. Esse foi o primeiro passo para o entendimento dos espectros luminosos. Mais tarde, no início do século XIX, Joseph von Fraunhofer descobriu as linhas escuras no espectro solar, hoje conhecidas como linhas de Fraunhofer, que abriram caminho para a identificação de elementos químicos presentes no Sol e em outras estrelas. Outros

experimentos, como o da dupla fenda de Thomas Young realizado em 1801, demonstraram a natureza ondulatória da luz, enquanto o efeito fotoelétrico, descoberto por Albert Einstein em 1905, confirmou sua natureza dual como onda e partícula. Esses estudos foram essenciais para o desenvolvimento da espectroscopia moderna, consolidando-a como uma ciência crucial para o entendimento da estrutura da matéria. O espectroscópio, inventado por Kirchhoff e Bunsen na década de 1860, revolucionou a ciência ao permitir a análise detalhada da luz emitida ou absorvida por diferentes substâncias, levando à descoberta de novos elementos químicos (Moreira, Romeu, Alves e Silva, 2018).

No campo educacional, a espectroscopia tem sido uma ferramenta poderosa para aproximar os estudantes de conceitos abstratos de física e química, tornando o aprendizado mais dinâmico e interativo. O uso de espectroscópios de baixo custo, construídos com materiais simples, como CDs e placas Arduino, permite que os alunos realizem experimentos práticos, ajudando a visualizar fenômenos como a decomposição da luz e a formação de espectros. A espectroscopia no ensino também promove uma integração interdisciplinar, conforme recomendado pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC), pois ao utilizar espectroscópios, os alunos conectam conceitos de física, química e astronomia, o que facilita a compreensão de como a ciência funciona de maneira integrada.

As atividades práticas com espectroscopia atendem diretamente às diretrizes da BNCC, que visam estimular o protagonismo estudantil e a aprendizagem ativa, colocando os alunos no centro do processo educativo. Essas atividades incentivam os alunos a explorar e aplicar o conhecimento de forma prática, aproximando-os das metodologias científicas e desenvolvendo habilidades investigativas. De acordo com a BNCC, a terceira competência específica para Ciências da Natureza envolve investigar situações-problema e avaliar as aplicações do conhecimento científico e tecnológico, propondo soluções que considerem demandas locais, regionais e globais. Além disso, é essencial que os alunos comuniquem suas descobertas e conclusões a públicos variados, utilizando diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (Brasil, 2017, p. 555). Dessa forma, o uso da espectroscopia no ensino vai além da visualização de fenômenos físicos; ela também fomenta a resolução de problemas e a comunicação científica, alinhando-se às competências educacionais propostas pela BNCC.

Como apontam Kelly, Rocha e Germano (2017), ao utilizar materiais simples e acessíveis, como CDs reciclados para difração da luz e estruturas de papelão, o custo total do dispositivo pode ser drasticamente reduzido em comparação aos espectroscópios comerciais, que costumam apresentar preços elevados. Essa abordagem atende diretamente às necessidades do ensino público, permitindo que instituições com recursos limitados implementem atividades práticas de alta qualidade no ensino de ciências.

Além disso, o uso de componentes como lentes de baixo custo e controladores Arduino, disponíveis por valores acessíveis no mercado, reforça a viabilidade do projeto, ao mesmo tempo em que incentiva a integração de tecnologias modernas em ambientes educacionais. Dessa forma, iniciativas como esta contribuem para a popularização da ciência, garantindo que alunos de diferentes contextos sociais tenham acesso às mesmas oportunidades de aprendizado prático e experimental.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do espectroscópio de baixo custo está sendo conduzido com o uso de materiais acessíveis e técnicas de construção simplificadas, visando sua aplicabilidade em ambientes educacionais. A estrutura está sendo projetada para ser funcional e de fácil montagem, utilizando componentes econômicos e tecnologias amplamente disponíveis. Optou-se pela utilização de uma câmera de celular para capturar o espectro de luz, substituindo a webcam anteriormente considerada, devido à maior praticidade e acessibilidade dessa solução.

Para o ajuste do foco da luz capturada, foi selecionada uma lente de 100 mm de distância focal e 45 mm de diâmetro, encontrada por R\$60,23 (sessenta reais e vinte e três centavos). A dispersão do espectro visível está sendo realizada com um recorte de CDs, aproveitando sua capacidade de difração da luz como uma alternativa econômica, porém caso o CD não seja eficiente, é considerado uma rede de difração no valor de R\$90,00 (noventa reais) e com frete de R\$10,00 (dez reais), sendo assim o valor total para realização desse projeto é de R\$160,23 (cento e sessenta reais e vinte e três centavos), ainda considerado um valor de baixo custo e acessível se comparado a um aparelho de espectroscopia encontrado por pelo menos R\$1.600,00 (mil e seiscentos reais). A estrutura para acomodar os componentes inicialmente foi planejada com o uso de impressão 3D, conforme sugerido por Paganelli em seus estudos sobre espectroscópios de baixo custo. No entanto, optou-se pelo uso de papelão nos primeiros protótipos, devido à sua facilidade de obtenção e manipulação, além de sua capacidade de minimizar reflexos internos que poderiam comprometer a qualidade do espectro capturado, as partes estão sendo fixadas com adesivo instantâneo, garantindo robustez à montagem. Foi pensado na lente de 100 mm para ser posicionada a uma distância de 170 mm da entrada do acoplamento, buscando garantir o foco preciso da luz no sensor da câmera. Para aprimorar a funcionalidade e precisão do dispositivo, está sendo integrada a ele uma plataforma baseada no Arduino como controlador.

O Arduino desempenha um papel fundamental ao permitir ajustes automáticos na posição e no foco do espectroscópio, adaptando-o a diferentes condições de uso e otimizando a captura dos espectros. Além disso, ele contribui para a estabilização da captura das imagens, minimizando interferências causadas por vibrações ou movimentos indesejados. Outro recurso importante que está sendo implementado é a integração de sensores de luminosidade, que monitoram a intensidade da luz captada e ajustam automaticamente os parâmetros do sistema, evitando a saturação da imagem e melhorando a definição dos espectros capturados. A inclusão do Arduino não apenas simplifica a operação do espectroscópio, mas também eleva sua precisão e eficiência, características essenciais para o sucesso do projeto.

O design do espectroscópio está sendo desenvolvido para ser compatível com telescópios que utilizam oculares de 1,25 polegadas, permitindo a observação de espectros de corpos celestes. O ajuste final do foco será realizado diretamente no telescópio, variando a distância do focalizador até que o espectro seja visualizado com nitidez na tela do dispositivo móvel. Após a montagem do espectroscópio e seu acoplamento ao telescópio, a captura do espectro será feita por meio de um aplicativo de câmera com controle manual de exposição.

O software AutoStakkert foi selecionado para o processamento dos vídeos capturados, devido à sua acessibilidade e custo zero, características que o tornam ideal para uso em instituições de ensino básico. Essa ferramenta gratuita, amplamente utilizada na astronomia amadora, possui uma interface intuitiva que facilita o empilhamento de imagens, reduzindo ruídos e aprimorando a definição do espectro. Essa funcionalidade é essencial para garantir resultados de qualidade sem a necessidade de equipamentos ou softwares onerosos. Ao utilizar o AutoStakkert, o projeto mantém

seu compromisso de democratizar o acesso a tecnologias de análise científica, incentivando o aprendizado prático e proporcionando o desenvolvimento de habilidades técnicas e a compreensão de conceitos científicos com recursos acessíveis e eficazes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora o projeto do espectroscópio de baixo custo ainda esteja em desenvolvimento, e o prazo estabelecido não tenha permitido a conclusão dos testes de eficácia, os avanços obtidos até o momento indicam um progresso substancial na concepção e construção do protótipo. Durante o processo de desenvolvimento, optou-se por realizar modificações estruturais significativas em relação ao modelo de referência, baseado no trabalho "Astronomia e Espectroscopia: Uso de Recurso Experimental para o Ensino de Física", de Eduardo Paganelli, o que resultou em um dispositivo mais simplificado. Tais modificações foram realizadas com o intuito de reduzir tanto o custo quanto a complexidade de montagem, visando tornar o espectroscópio mais acessível e viável para utilização em ambientes educacionais.

No modelo proposto por Paganelli, a estrutura incluía um número mais extenso de componentes e uma configuração mais complexa para a lente e a rede de difração. Contudo, o processo de construção demonstrou que essa configuração apresenta desafios de precisão e alinhamento dos componentes ópticos, comprometendo a funcionalidade geral do dispositivo. A simplificação do design implementada neste trabalho eliminou alguns desses elementos, buscando um ajuste mais direto e intuitivo dos componentes ópticos. Essa nova configuração se mostrou mais adequada para ambientes educacionais com infraestrutura limitada, uma vez que os materiais são de fácil aquisição, e o processo de montagem demanda menos ajustes técnicos. No entanto, essa simplificação estrutural trouxe implicações para a etapa de testes de eficácia, os quais foram temporariamente adiados. Ainda não foi possível realizar uma avaliação prática da captura e análise de espectros por meio do software SharpCap, tampouco a calibração inicial do dispositivo. Dessa forma, aspectos fundamentais, como a qualidade da imagem capturada, a nitidez do espectro e a precisão na identificação de linhas espectrais específicas, permanecem indefinidos, constituindo os próximos passos prioritários do projeto.

Apesar disso, o potencial educacional do espectroscópio foi reforçado, especialmente quanto à viabilidade de sua implementação em ambientes escolares. A simplificação da montagem facilita o acesso ao espectroscópio, tornando-o adequado não apenas para estudantes universitários, mas também para alunos do ensino médio, que poderão participar ativamente do processo de montagem e experimentação espectroscópica. A utilização de materiais amplamente disponíveis, como CDs para a rede de difração, e a possibilidade de adaptar webcams ou câmeras de celular para a captura de imagem representam um avanço significativo no sentido de democratizar o uso da espectroscopia.

Outro aspecto relevante identificado durante o desenvolvimento foi a adaptação dos componentes ópticos para maximizar a captação de luz em ambientes com iluminação reduzida, como ocorre em observações de corpos celestes à noite. A estrutura do espectroscópio, projetada para ser acoplada a telescópios, foi desenhada para otimizar o foco da luz na lente de 100 mm; no entanto, ajustes adicionais poderão ser necessários para assegurar a nitidez dos espectros capturados em condições de baixa luminosidade. Esses ajustes serão explorados nas próximas versões do projeto, quando o protótipo simplificado puder ser submetido aos testes experimentais.

Ainda que a análise completa dos resultados de captura e qualidade espectral depende de testes futuros, o progresso alcançado até o momento estabelece uma base promissora para o desenvolvimento de um espectroscópio acessível e voltado ao ensino. Com a continuidade do projeto e a execução dos testes planejados, espera-se não apenas avaliar a eficácia do dispositivo para o ensino de espectroscopia, mas também aperfeiçoar seu design, maximizando sua funcionalidade e aplicabilidade em contextos educacionais.

Uma proposta de extensão viável seria integrar a construção e utilização deste espectroscópio em um minicurso de Arduino e/ou astronomia, especialmente em Institutos Federais (IFs) que possuam telescópios em suas instalações. Durante o minicurso, os participantes poderiam construir o espectroscópio, aprender sobre sua montagem e configuração, e utilizá-lo para observar e analisar espectros de diferentes fontes de luz, incluindo corpos celestes.

Essa abordagem permitiria uma experiência prática e interdisciplinar, envolvendo conceitos de física, química, tecnologia e astronomia. Além disso, os alunos teriam a oportunidade de verificar diretamente a funcionalidade do dispositivo que ajudaram a construir, reforçando seu aprendizado e estimulando o interesse por áreas científicas. A realização de projetos como esse também fortaleceria o vínculo entre ensino e extensão, promovendo o acesso à ciência de forma inclusiva e colaborativa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de um espectroscópio de baixo custo e acessível para uso educacional mostrou-se promissor, ainda que as adaptações realizadas no protótipo tenham exigido uma revisão no cronograma original. As modificações estruturais, inspiradas e simplificadas a partir do trabalho de Paganelli (2022) e da autora Gleyce Kelly (2017), possibilitaram a criação de um dispositivo mais acessível e de fácil montagem, potencializando o seu uso em contextos escolares e universitários, com baixo custo e viabilidade de montagem com materiais comuns.

Em termos de confrontação com os objetivos inicialmente estabelecidos, constatou-se que o projeto avançou de maneira significativa na democratização do acesso à espectroscopia para ambientes educacionais, com uma abordagem experimental que contribui para o aprendizado prático e investigativo de conceitos de Física e Astronomia. Contudo, a simplificação estrutural também gerou implicações, como a necessidade de ajustes adicionais nos componentes ópticos e a impossibilidade de realizar testes de eficácia no prazo disponível. Esses fatores indicam que, apesar do progresso alcançado, o objetivo de validar a eficácia e a precisão do dispositivo depende da realização dos testes previstos.

O trabalho evidencia o potencial do protótipo como ferramenta de ensino acessível, alinhando-se ao propósito de facilitar a prática da espectroscopia em ambientes educacionais. A continuidade do projeto, incluindo os testes experimentais e a calibração do espectroscópio, será essencial para consolidar seu uso efetivo e expandir suas possibilidades no estudo da composição e propriedades da luz, aproximando estudantes e educadores da prática científica.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o fomento recebido por meio da bolsa do Programa CAPES UAB (Universidade Aberta do Brasil), vinculada ao Edital Inova EaD 2023, que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ATKINS, P.; DE PAULA, J. *Physical chemistry*. 9. ed. Oxford: Oxford University Press, 2010.
- BANWELL, C. N.; MCCASH, E. M. *Fundamentals of molecular spectroscopy*. 4. ed. London: McGraw-Hill Education, 1994. Disponível em: [fundamentos da espectroscopia molecular : C.N. Banwell : Download gratuito, empréstimo e streaming : Internet Archive](#). Acesso em: novembro de 2024.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular – BNCC 3ª versão. Brasília, DF, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: novembro de 2024.
- CARROLL, B. W.; OSTLIE, D. A. *An introduction to modern astrophysics*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. Disponível em: [Uma introdução à astrofísica moderna: Carroll, Bradley W: Download gratuito, empréstimo e streaming: Internet Archive](#). Acesso em: novembro de 2024.
- FERNANDES, AC de P. et al. Efeito Doppler com tablet e smartphone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, p. e3504, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/KMNFb4j6KP7JysLgcZM7dfq/?format=html&lang=pt>. Acesso em: novembro de 2024.
- GREGÓRIO - HETEM, J. **Estrelas**. In: O céu que nos envolve. 1 ed. São Paulo: 2011.
- GRIFFITHS, D. J. *Introduction to quantum mechanics*. 2. ed. London: Pearson Education, 2007.
- KELLY, Gleyce; ROCHA, Dicleyson; GERMANO, Renato. Espectroscopia para o ensino médio utilizando a placa Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 2, 2017. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/rbect/article/view/3997>. Acesso em: agosto de 2024.
- LEITE, D. O.; PRADO, R. J. Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 2504, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/QbZCxNqrv3B7nYTHzwtrmFm/?lang=pt>. Acesso em: outubro de 2024.
- LOPES, Ricardo Gomes. **Elaboração e aplicação de um curso de introdução à plataforma Arduino-Ardublock-ESP32**. 2023. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Informação e Comunicação) – Universidade Federal do Pampa, São Gabriel, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riu/9691>. Acesso em: novembro de 2024.
- MOREIRA, Michele Paulino Carneiro et al. Contribuições do Arduino no ensino de Física: uma revisão sistemática de publicações na área do ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 721-745, 2018. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6816391>. Acesso em: agosto de 2024.
- PAGANELLI, Eduardo. **Astronomia e Espectroscopia**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2799>. Acesso em: agosto de 2024.
- SILVA, Lucas Barboza Sarno da; PIMENTA, Amanda. Espectroscopia óptica automatizada de lâmpadas de vapor de gases em alta pressão para utilização didática de baixo custo.

Experiências em Ensino de Ciências, v. 17, n. 2, p. 110-122, 2022. Disponível em:
<https://if.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/1027>. Acesso em: agosto de 2024.

SOLE, J. G.; BAUSÁ, L. E.; JAQUE, D. **An introduction to Optical Spectroscopy of Inorganic Solids**. Chichester: John Wiley & Sons, 2005.