



# Explorando a absorção óptica através da construção de um colorímetro de baixo custo

Exploring the optical solution by building a low-cost colorimeter

Milton Baptista Filho<sup>\*1</sup>, Tiago Destéffani Admiral<sup>1</sup>, Cassiana Barreto Hygino Machado<sup>1</sup>,  
Leonardo Munaldi Lube<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educacao Ciencia e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

Recebido em 06 de junho de 2024. Revisado em 02 de agosto. Aceito em 03 de agosto de 2024.

A criação de montagens experimentais no âmbito didático, a partir de elementos de baixo custo, reaproveitados e reciclados, é uma realidade deste tempo. O destaque que atividades na abordagem da cultura maker têm tido, evidenciam o potencial de propostas e estímulos no âmbito educacional nesta linha. Este trabalho propõe a construção de um protótipo de um colorímetro de baixo custo, utilizando o sensor de luminosidade de um *smartphone*. O trabalho descreve a montagem do protótipo, os procedimentos realizados para os testes do equipamento e apresenta os dados obtidos através dos ensaios experimentais. Para os testes foram utilizados materiais de limpeza usuais, obtidos no âmbito doméstico. A partir dos resultados obtidos foi possível observar a diferença da absorção entre as amostras utilizadas em decorrência da cor de cada uma delas, como esperado na teoria. O material de limpeza com perfil de absorção mais bem definido foi adotado para uma diluição em água e o resultado da absorbância relativa *versus* concentração apresentou coerência com fator de correlação acima de 0,93. O protótipo apresentou excelente repetibilidade nas medições e isso, associado ao seu fácil manuseio, indicam que sua utilização pode ser viável em uma sala de aula típica.

**Palavras-chave:** Cor, colorímetro, absorbância, Arduino, LED RGB.

The creation of experimental setups in an educational context, using low-cost, reused, and recycled materials, is a reality of our time. The prominence of activities within the maker culture approach highlights the potential of educational proposals and stimuli in this direction. This work proposes the construction of a low-cost colorimeter prototype, using the light sensor of a *smartphone*. The work describes the assembly of the prototype, the procedures performed for testing the equipment, and presents the data obtained from the experimental trials. Common household cleaning materials were used for the tests. From the results obtained, it was possible to observe the difference in absorption between the samples used, due to their color, as expected in theory. The cleaning material with the lightest absorption profile was selected for dilution in water, and the result of the relative absorbance versus concentration showed consistency with a correlation factor above 0.93. The prototype demonstrated excellent repeatability in measurements, and this, coupled with its ease of use, indicates that its application could be feasible in a typical classroom setting.

**Keywords:** Color, Colorimeter, Absorbance, Arduino, RGB LED.

## 1. Introdução

Os sensores dos *smartphones* têm despertado o interesse pela criação de protótipos voltados a experimentos didáticos, com destaque para a facilidade na inserção do sensor à atividade experimental e o perfil de atividade manual, na tendência do “faça você mesmo” (DIY – *Do It Yourself*) que pode ser ofertada através do desenvolvimento de projeto. Este perfil de atividade promove versatilidade na aquisição e consequente tratamento de dados apurados [1–4] de forma que possibilita, por exemplo, abordagem experimental voltada ao ensino de óptica, em especial, a absorção óptica, trabalhando a investigação científica e a construção de aparato.

Muitos trabalhos têm apresentado formas de experimentação simples, de custo reduzido ou inexistente a partir do uso de *smartphone*. Este recurso traz possibilidades na produção de dados e com grande potencial para estimular a produção científica e intelectual dos estudantes. Estes também são elementos importantes para estimular a associação de habilidades manuais, a busca por resolução de limitações e problemas típicos da prática, da experimentação, e do desenvolvimento tecnológico [5–7]. A física moderna, em particular o tema interação da radiação com a matéria, recebeu um grande destaque na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) de 2017 [8], tanto no âmbito do ensino fundamental quanto médio. A tecnologia LED e a absorção óptica, são temas em potencial para melhor explorar de forma prática e experimental conceitos da física moderna em sala de aula.

\*Endereço de correspondência: [mfilho@iff.edu.br](mailto:mfilho@iff.edu.br)

Este trabalho teve como ponto de partida compreender em que medida um LED RGB (*Red, Green, Blue*) tem capacidade para simular a dispersão cromática de uma fonte tradicional? E qual o potencial que o uso deste tipo de atividade tem para o estímulo ao exercício de criação para estudantes relacionados ao desenvolvimento de atividades em projetos? [9, 10]. Para tanto, um LED RGB foi utilizado com o controle PWM (*Pulse Width Modulation*) da placa Arduino e uma simulação de dispersão por meio do controle de potência do LED [11] para a variação de comprimento de onda entre 400 nm e 700 nm. A intensidade da luz transmitida através das amostras foi determinada através do sensor de luminosidade ambiente de um *smartphone* para análise de transmissão e consequente absorção da luz. Os dados gerados foram transferidos em tempo real, por conexão Wi-Fi, e tratados por uma rotina programada em *Python*. O aparato foi aplicado no estudo de amostras de materiais de limpeza de cores variadas.

## 2. Contexto de Concepção do Protótipo

A percepção visual humana é a base da definição de cor. Por sua vez, do ponto de vista físico, está associada ao comprimento de onda, sendo afetada pelo espectro de emissão da fonte e da interação da luz com os objetos na forma que ele reflete, absorve e transmite a luz [12–15]. A definição de cor vem sendo razão para estudos científicos por muitos séculos. No início do século XIX, Thomas Young apresentou sua teoria tricromática, embasando que a percepção de cor dependia da recepção no olho de três cores primárias, vermelho, verde e azul e sua superposição como mecanismo para composição de cores.

Já ao final do século XIX, o trabalho de Heirich Helmholtz, que seguia a proposta de Young, foi fundamental na criação e registro das primeiras patentes que tratavam do registro de imagens. Estas tecnologias foram importantes na produção dos primeiros filmes pelos irmãos Lumière e o registro de fotografias no final daquele século [16, 17]. No início da década de trinta, o importante trabalho propondo uma relação objetiva entre comprimento de onda e percepção visual é publicado, de onde um grande número de padrões de coordenadas e espaço de cor, como o padrão RGB e outros padrões como o CMYK (*Cyan, Magenta, Yellow, Black* – K para o preto para diferenciar do B usado para Blue), e padrões relativos como o HSL (*Hue, Saturation, Lightness*) e o HSV (*Hue, Saturation, Value*) são originados. Estas tecnologias são fundamentais na definição de cor moderna adotada na produção industrial e de alimentos [18].

No campo da espectroscopia da radiação visível, a cor de substâncias líquidas é o resultado da interação da substância com a luz, ou seja, a forma que ela reflete, absorve e transmite a luz afeta a cor que a substância é

vista. De acordo com [19], a espectroscopia no visível é técnica muito importante no contexto histórico, sendo ainda largamente utilizada como medida de base na química analítica. Por isto, frequentemente é utilizada como atividade introdutória para técnicas analíticas em atividade didática. A concepção comercial de espectrofotômetros na forma de produto implica em estruturas fechadas e com interface de operação em tela, visando a praticidade na operação. No entanto, o autor destaca uma lacuna possível na interação do estudante com a montagem experimental a partir da operação deste tipo de equ, haja vista o grande número de equipamentos didáticos variados em torno da construção e montagem explorando este assunto.

Ainda segundo [19], os tipos de instrumentos encontrados na literatura se dividem entre:

- Fotômetros, que são equipamentos dedicados à medida da intensidade luminosa, ou seja, a medida objetiva da luz transmitida;
- Espectroscópios, que são equipamentos que fazem uso de componentes dispersivos, como rede de difração, prismas e monocromadores, dedicados à visualização do espectro de emissão de uma fonte luminosa;
- Colorímetros, que são equipamentos dedicados à medida da absorbância de comprimento de onda específico e faz uso de elementos como filtros, componentes para dispersão da luz bem como sensores seletivos à comprimento de onda, tal como canais RGB existentes em câmeras digitais;
- Espectrofotômetros, que são equipamentos para a medida da intensidade luminosa em função da variação do comprimento de onda aplicado, em geral, dotados de fonte de espectro amplo e de componente para dispersão de sua luz.

O custo de cada tipo de equipamento é variado, porém espectrofotômetros são, em geral, os equipamentos que apresentam o maior custo. Este trabalho trata do desenvolvimento e aplicação de um colorímetro didático uma vez que utiliza fonte com variação de comprimento de onda e sensor com sensibilidade para uma faixa ampla de espectro. Trabalhos recentes têm trazido o uso de LEDs como fonte importante para o estudo da absorção óptica [10, 19–26] tanto em pesquisa quanto em âmbito didático. Utilizando esse recurso tecnológico, tendo em vista a cultura maker em consonância com a oferta de recursos e suprimentos, mesmo que simples e de baixo custo, destaca-se a possibilidade em potencial para transformar as salas de aula em locais de criação e construção [27].

O aprendizado aliado à invenção e a inovação requer compreender que a construção se faz no planejamento e na permissão do aprendizado a partir dos erros e das mudanças de curso ao longo do desenvolvimento de um projeto [28, 29]. Buscando aproximar a reprodução deste trabalho e seu aspecto exploratório, foram utilizadas

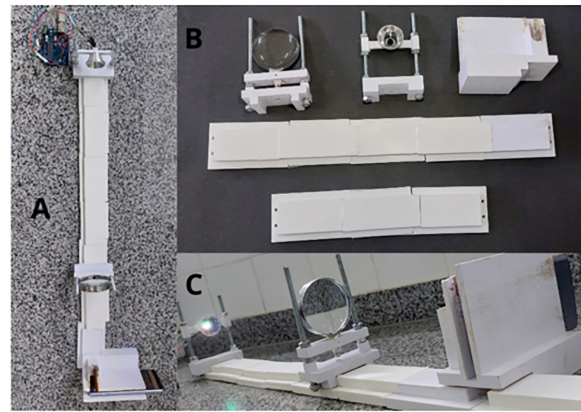
amostras de uso doméstico, de teor pouco conhecido, disponíveis para compra em qualquer supermercado, o que difere de trabalhos de referência [15, 19, 22, 23, 30–32] que utilizaram solutos e solventes padronizados. Além disto, esta proposta parte de recursos que possibilitam a montagem de forma simples e acessível, e apresenta resultados significativos para absorção óptica das substâncias adotadas a partir do uso de uma varredura de comprimentos de onda [11, 22]. O desenvolvimento do trabalho considerou que a questão de partida necessita trazer contexto de aplicação ao cotidiano, que pode ser de cunho tecnológico ou científico, aliado ao estímulo a criação e a construção a partir de meios próprios e acessíveis. Para a realização do trabalho partindo do zero, foi necessário adquirir a fonte, a placa de programação Arduino UNO, a cubeta de vidro e a lente, tendo um custo total de R\$100,00. Considerou-se, portanto, que para o desenvolvimento do trabalho em ambiente escolar seja relevante considerar:

- As possibilidades de criação para a peça plástica,
- As adoção de diferentes fontes de luz e a razão para adotar um LED,
- Os sensores diferentes daqueles presentes no *smartphone*,
- As características das amostras a serem definidas para a medida experimental,
- As questões envolvidas no circuito utilizado.

### 3. Materiais e Métodos

A produção de partes como estrutura de equipamento e suporte utilizando a impressão 3D destinada ao uso de *smartphone* tem sido apresentada em vários trabalhos para o estudo e ensino da espectroscopia, bem como a Lei de Lambert Beer [19–21, 23, 33–35]. Nesta proposta, em busca de maior intensidade da fonte chegando ao sensor, foi criado um trilho com suportes dedicados à fonte, à lente e ao *smartphone*. As peças foram criadas, desenhadas e por fim produzidas a partir de impressão 3D no material PLA. Vide Figure 1.

O ajuste de altura dos suportes da fonte e da lente foi feito através da instalação de uma barra rosqueada de aço de 1/4" de diâmetro, com arruelas e roscas nas interfaces das partes com o parafuso. Um refletor de seção cônica reciclado de uma lanterna foi instalado no suporte da fonte juntamente com um suporte para LED cápsula 5 mm. Os suportes para fonte e lente permitem movimentação na vertical e na horizontal no caminho do trilho. Estes dois movimentos foram fundamentais para o alinhamento adequado do foco de menor cintura sobre a cubeta. O suporte para *smartphone* foi desenvolvido a partir das dimensões do aparelho escolhido para ser utilizado neste trabalho. Todos os detalhes construtivos do projeto, incluindo os desenhos das peças prontos para produção e o códigos em *Python* estão disponíveis em <https://bit.ly/absopt>.



**Figura 1:** A) Conjunto óptico com as peças montadas na posição de melhor ajuste do foco; B) Peças componentes do conjunto; C) Vista diagonal do conjunto.

A fonte de luz visível utilizada foi um LED RGB (cápsula, cristal alto brilho, 5;mm, tipo anodo). O LED RGB é constituído por um encapsulamento que contém LEDs em seu interior (vermelho, verde e azul), portanto possui sempre quatro pinos de conexão, em duas configurações possíveis: o LED RGB tipo anodo possui o polo negativo comum aos LEDs e três pinos positivos. Já o tipo catodo possui o pino positivo comum aos LEDs, e três negativos. Com essa configuração a cor resultante produzida pelo LED RGB dependerá de como a tensão está sendo aplicada em cada terminal específico, por exemplo. Se houver tensão máxima nominal nos pinos referentes ao LED vermelho e nula nos demais, o resultado será uma cor vermelha. Caso tenhamos tensões aplicadas aos outros pinos, referentes às outras cores, o resultado será a formação de cores variadas. Sendo assim, estas fontes apresentam um espectro de emissão seletivo e restrito à dispersão mais abrangente, porém com poder para serem aplicadas à espectroscopia em regiões mais específicas do espectro, tendo abrangência desde o infravermelho até o ultravioleta. [24].

O sensor de luminosidade de um *smartphone* foi utilizado para determinar a luz transmitida por amostras transparentes de cores diferentes. As posições da fonte e da lente foram ajustadas para que o feixe de luz atingisse o sensor com 3,00 mm de diâmetro cobrindo o sensor no máximo sinal obtido, 60000 lux. Uma cubeta de vidro óptico (10 mm × 10 mm × 50 mm, 3 mL) foi utilizada como porta amostras. Uma lente de foco (12,00 ± 0,05) cm (lente convergente obtida de um kit lupa e garras) foi utilizada para maximizar o uso da luz emitida. O *smartphone* utilizado no trabalho foi o modelo Samsung Galaxy A8 (sensor de luz ambiente, OSRAM, modelo TMD3725, Máxima medida 80000 Lux, Menor medida 0,5 Lux, Maior sensibilidade em cada canal RGB, respectivamente, 615 nm, 525 nm, 465 nm – informações fornecidas pelo fabricante). O *smartphone* foi posicionado horizontalmente, com a face frontal em direção à cubeta e ao LED. O sensor de luminosidade dos

aparelhos situa-se tipicamente próximo à câmera frontal do aparelho.

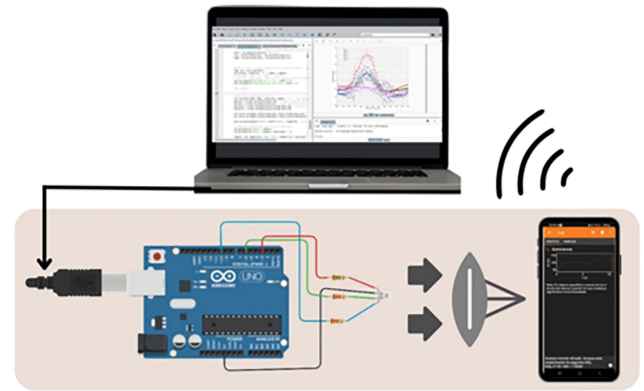
Os dados produzidos a partir do sensor de luminosidade do *smartphone* foram adquiridos, exibidos e transmitidos utilizando o aplicativo para experimentos educacionais Phypox. Este aplicativo permite controlar e monitorar a aquisição dos dados do sensor de luminosidade através de função *webttool* direto do navegador de um notebook conectado à mesma rede de internet do *smartphone*. Esta possibilidade permite o controle de início e fim da aquisição como para fins educacionais, a exibição dos dados obtidos em gráfico em tela de TV e projetor conectado aos notebooks e a exportação de arquivo bruto em formato .csv e .xlsx [36].

Os dados apurados para a intensidade luminosa em cada condição experimental são armazenados pela rotina em *Python* separadamente. Através de comando em tela o usuário solicita e a rotina determina os valores da absorção ao longo dos comprimentos de onda obtidos conforme a definição de absorção óptica a partir da Lei de Lambert Beer [37]:

$$A = -\log_{10}T = \log_{10}\frac{I_o}{I} \quad (1)$$

Na Equação 1, a absorbância ( $A$ ) e a transmitância ( $T$ ) são relacionados pelo inverso e absorbância da amostra a partir da intensidade luminosa que chega ao sensor após a luz atravessar a cubeta com a amostra ( $I$ ) e após atravessar a cubeta com o solvente ( $I_o$ ). As amostras utilizadas neste trabalho coletadas a partir de materiais de limpeza variados não foram fracionadas e diluídas a partir de substância conhecida. Para tanto, uma vez que no uso doméstico estes produtos são utilizados em meio a água ou mesmo diluídos em água, ela foi adotada como solvente para a cubeta na condição de  $I_o$ . Os seguintes produtos foram analisados: detergente amarelo, detergente verde, limpa alumínio (verde), limpa vidro (azul), desinfetante vermelho, desinfetante rosa, desinfetante caramelo. Para cada amostra foi obtido o sinal sem cubeta, com cubeta preenchida com água e com a cubeta com a amostra. Foi realizada sempre a varredura integral entre 400  $nm$  e 700  $nm$ , tendo sido programado um passo de 1  $nm$  a cada 100  $ms$ .

Uma rotina na linguagem *Python* (Código disponível em <https://bit.ly/absopt>) foi escrita para realizar a integração entre os dados produzidos pelo *smartphone* e registrados pelo aplicativo simultaneamente ao controle da placa de programação de microcontrolador (Arduino). Ela estabelece comunicação recebendo dados do *Smartphone* para o computador através de um comando em *Java Script* tendo o usuário que informar o IP do aparelho conectado à rede Wifi que o computador também está conectado. A partir de biblioteca específica (pyFirmata), a rotina tem acesso integral as portas da placa Arduino, sendo a forma de comunicação à placa através de cabo USB (esquematizado na Figure 2). A dinâmica das medidas na rotina é feita em quatro blocos de operação que são definidos em um menu numérico para o



**Figura 2:** Esquema ilustrativo do controle do experimento a partir do computador.

usuário. Nas opções de 1 a 3, o usuário realiza as medidas da intensidade luminosa nas condições: sem cubeta, do solvente e da amostra, tendo a rotina armazenado a medida de intensidade luminosa para cada uma destas condições. Na opção 4, é calculada a absorção óptica a partir da Equação 1 usando os dados de intensidade luminosa para o solvente e a amostra, feito o registro em arquivo em formato .csv destes dados em pasta designada pela usuário e feita a exibição de gráfico com a absorção versus comprimento de onda. Os dados obtidos na condição 1 são arquivados para acompanhamento do sistema e não são empregados na operação da Equação 1.

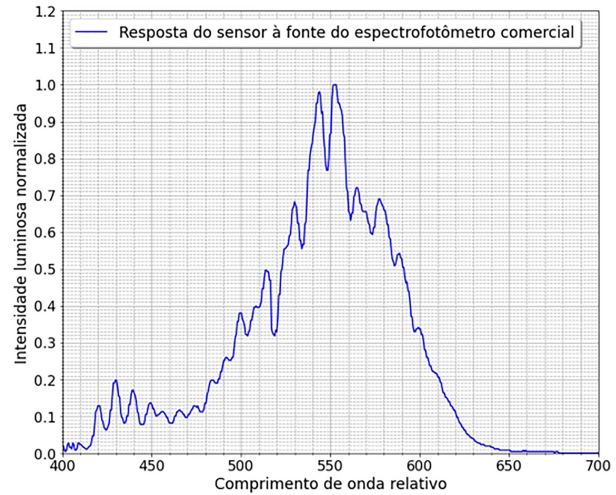
Cada contato da fonte foi ligado aos pinos com função PWM. Para isso foram utilizados resistores em série com cada contato da fonte, respectivamente, ( $R_{vermelho} = 150 \Omega$ ,  $R_{verde} = 120 \Omega$ ,  $R_{azul} = 120 \Omega$ ). Na condição de potência máxima, quando todos os LED ligados, verificou-se tensão e corrente, respectivamente, 4,83 V (vermelho), 4,80 V (verde), 4,77 V (azul) e corrente de 46,5  $mA$ . Já, quando cada LED foi ligado separadamente, verificou-se 4,88 V e 15,5  $mA$ , Vermelho, 4,82 V e 16,6  $mA$ , Verde, e 4,83 V e 17,8  $mA$ , Azul.

O espectro de emissão da fonte foi obtido através do aplicativo *Theremino Spectrometer* [38] adaptado para uma montagem de espectroscópio. A montagem experimental utilizou a câmera traseira de um *smartphone*, o módulo driver de transmissão de imagem para computador *Droidcam* e uma rede de difração produzida a partir do recorte de um trecho central em um CD [25]. A Figura 3 ilustra o esquema da montagem experimental.

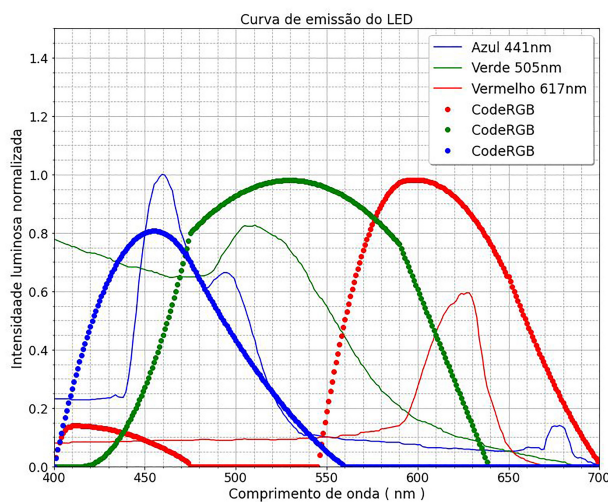
O padrão numérico estabelecido por [11] foi adaptado para a programação das portas digitais PWM da placa com limite de potência em 84,75% [22]. Cada saída PMW da placa permite a digitalização de *duty cycle* no limite de zero a 255. A Figura 4 apresenta o espectro de emissão do LED RGB obtido experimentalmente e o padrão de potência aplicada a cada LED por meio de mudança no *duty cycle*.



**Figura 3:** Esquema ilustrativo da montagem experimental adotada na medida do espectro de emissão do LED.



**Figura 5:** Resposta do sensor de luz ambiente à fonte de emissão do espectrofotômetro comercial.



**Figura 4:** Espectro de emissão da fonte sobreposto à potência aplicada em cada LED de 0 a 255.

A sensibilidade a diferentes comprimentos de onda do sensor de intensidade luminosa foi analisada utilizando uma lâmpada de tungstênio tendo varrido os comprimentos de onda entre 400 nm e 700 nm. Esta fonte, que é parte de um espectrofotômetro comercial, (Espectrofotômetro Digital Uv-vis, Faixa 190–1100 nm, Banda De 2 nm, Il-593 Bivolt, lâmpada de Lâmpada Deutério D2, Tungstênio) foi utilizada e o resultado da intensidade luminosa apresentado pelo sensor é equivalente ao padrão comum deste tipo de lâmpada. A Figure 5 exhibe o resultado obtido apresentando uma sensibilidade do sensor à fonte compatível com o espectro de emissão esperado, o que mostra a viabilidade do uso deste sensor para usos na análise de luz na faixa de comprimento de onda aplicado no trabalho.

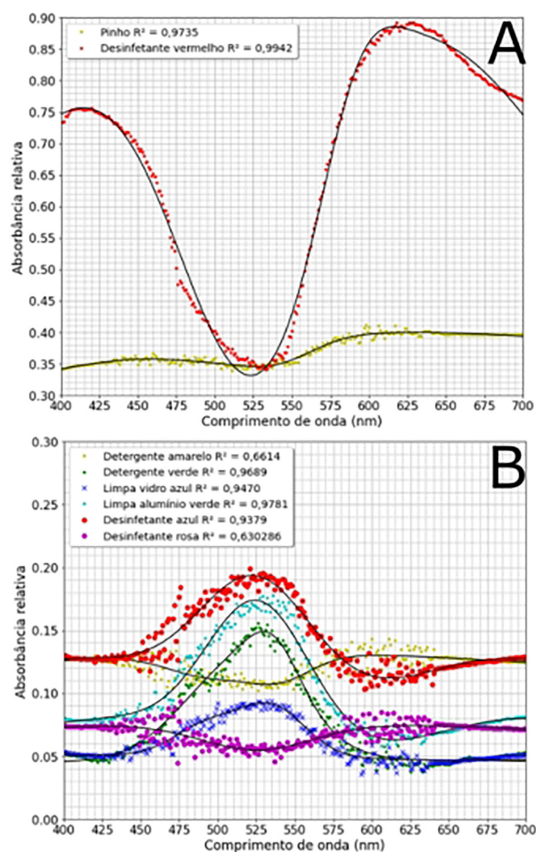
#### 4. Resultados e Discussão

A análise das amostras foi estabelecida sempre iniciando pela aquisição do sinal de base (sem cubeta), pelo sinal vazio ou de fundo (cubeta com água) e o sinal da

amostra (cubeta com amostra). A rotina anexa o sinal da intensidade luminosa para cada uma das condições e opera a Equação 1 utilizando os sinais para água e para a amostra. O sinal de fundo foi armazenado para checagem de regularidade de sinal de base do sistema.

As análises seguintes à varredura foram realizadas para todas as amostras em concentração integral (produto na forma que é comercializado) visando verificar a capacidade da montagem experimental em registrar uma assinatura de absorção típica. O desinfetante vermelho Figure 6A apresentou um sinal de absorbância muito mais elevado que os demais produtos, Figure 6B, o que supomos ter relação com a concentração mais elevada do corante neste produto, proporcionalmente se comparado aos demais. As bordas dos picos de absorção nos limites abaixo de 450 nm e acima de 650 nm não aparecem nas medidas, sendo visualizada com clareza dentro deste intervalo de comprimentos de onda. Isto pode ter acontecido por conta da melhor relação dos sinais da amostra e do solvente nesta região conjugada com a maior sensibilidade do sensor (Figure5). Conforme discutido por [22] a resolução espectral da fonte não apresente qualidade suficiente para uma análise espectroscópica, o que limite a identificação do pico de absorção da substância, ampliando a largura da banda observada. Embora tenha capacidade para ser utilizada em colorímetros, em λ específico.

Na Figure 6B, destaca-se que as amostras do matiz do verde e do azul apresentam uma absorção central com pico de máximo apresentando diferenças sutis no comprimento de onda. Estas amostras, diferentemente das amostras desinfetante rosa, detergente amarelo, desinfetante vermelho e desinfetante pinho apresentaram um máximo central destacado, compatível com o centro de emissão do LED verde Figura (4). Entre as amostras de produto no matiz do verde, estas apresentaram intensidades variadas, tendo o produto limpa alumínio

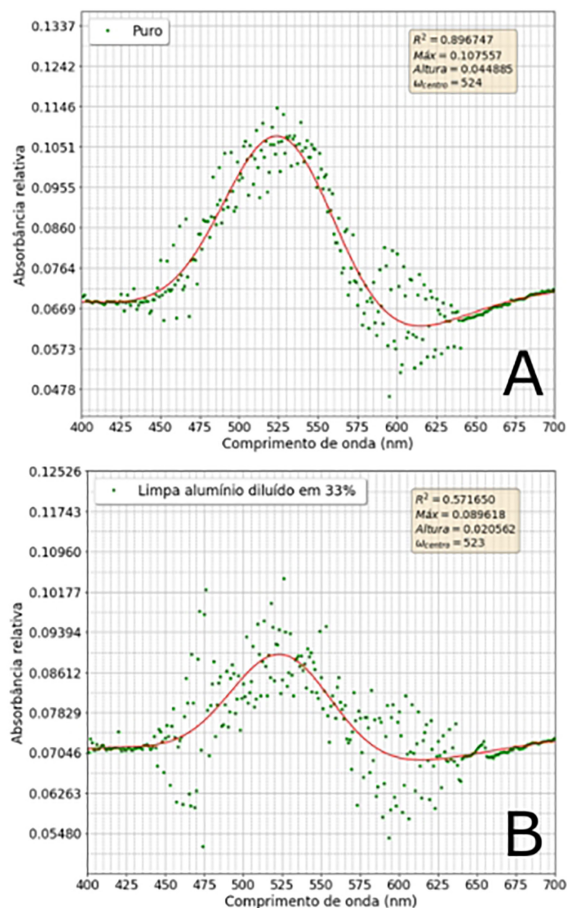


**Figura 6:** Absorbância dos diferentes produtos de limpeza. (A) Destacada absorbância do desinfetante vermelho muito mais intensa se comparada aos outros produtos em (B).

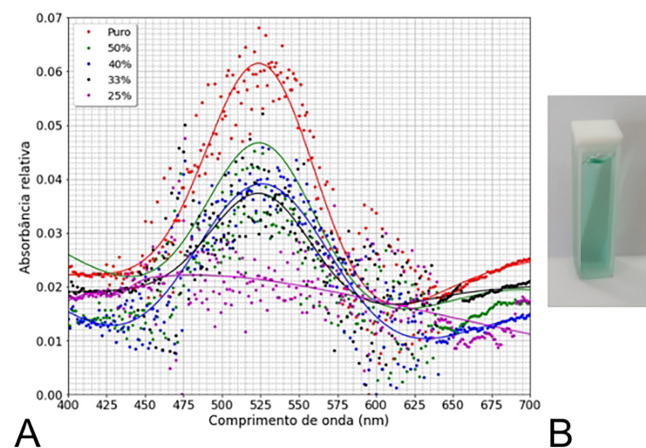
apresentado um pico de máximo bem destacado e proeminente, o que acreditamos ter relação com a melhor razão dos sinais do vazio e da amostra por conta da maior sensibilidade do sensor no limite entre 500 nm e 600 nm.

O sinal de absorção obtido foi aplicado a um ajuste não linear para um conjunto de soma de três curvas gaussianas independentes. O perfil gaussiano foi definido por conta do contorno largo de cada pico que pode ser medido em função das limitações do protótipo. As três curvas independentes foram utilizadas em vários ajustes buscando rastrear ombros adjacentes aos picos, o que não foi detectado. O ajuste foi aplicado a todos os dados e o melhores resultados para cada amostra são apresentados (linha contínua) nos gráficos das Figuras 6, 7 e 8. O fator de correlação de cada ajuste que permite estabelecer um fator de qualidade do apanhado de dados variou conforme o destaque em intensidade de cada amostra e o respectivo nível de ruído observado. Em especial, para as amostras de detergente, mais viscosas, foi sempre aguardado um tempo mínimo de 5 minutos uma vez preenchido a cubeta para permitir o escape de bolhas de ar.

Visando obter uma medida de sensibilidade da montagem, foi proposta a diluição do produto limpa alumínio em água. A partir da amostra de limpa alumínio, que

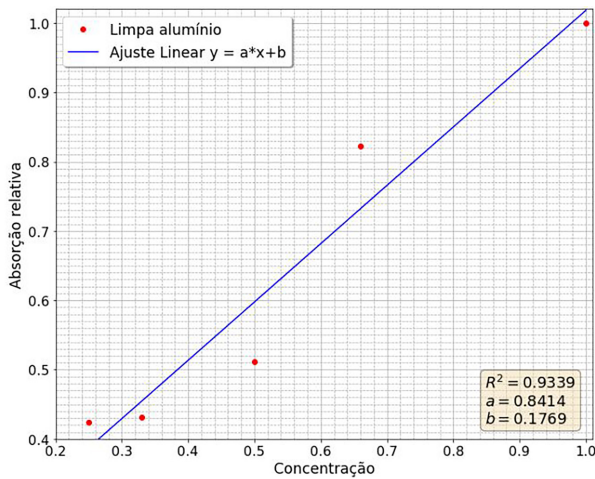


**Figura 7:** Sinal das amostras de limpa alumínio (A) puro e (B) na diluição máxima.



**Figura 8:** (A) Sinal de absorção de amostras de limpa alumínio diluído em água para vários comprimentos de onda. (B) Foto da cubeta preenchida com limpa alumínio integral.

apresentou um fator de correlação ( $r^2$ ) acima de 0,97, foi realizada uma diluição do conteúdo em água. As diluições foram feitas em água nas concentrações 66%, 50%, 40%, 33% e 25%. Cada diluição foi preparada imediatamente antes de ser submetida à cubeta. A Figure 7



**Figura 9:** Ajuste linear da altura máxima das amostras de limpa alumínio diluídas.

apresenta o sinal obtido para as concentrações de 66% e 33%. A concentração de 25% não apresentou magnitude considerável (apresentada na Figure 8. A amostra de diluição em 33% foi considerada como o limite experimental medido pela montagem, representando uma diluição de uma parte de produto integral para duas partes de água. O resultado com as curvas de absorbância relativa é apresentado na Figure 8(A). Na Figure 8(B) é apresentada a foto da cubeta com o produto sem diluição.

O ajuste de tripla gaussiana foi aplicado a cada conjunto de dados experimentais, apesar do nível de oscilação e ruído razoáveis, exceto para amostra em concentração 25%, foi possível obter um coeficiente de correlação para cada curva acima de 0,90, o que é um resultado significativo para uma montagem experimental simples e de fácil construção para fins didáticos. A partir do ajuste gaussiano, os valores da área de cada pico foram determinados e um ajuste linear para o conjunto de dados absorbância relativa versus respectiva concentração foi determinado. Estes dados são apresentados na Figure 9. O ponto experimental relativo ao produto integral não foi apresentado neste ajuste uma vez que já apresentou tendência de saturação. Com os pontos adotados em concentrações abaixo de 66% foi possível obter um ajuste linear com coeficiente de correlação acima de 0,92, com tendência de concentração de limite inferior em 33%.

## 5. Considerações Finais

A análise dos resultados indicou coerência entre o padrão de absorção obtido e as cores das amostras de material de limpeza adotados. Verificou-se também que o protótipo demonstrou uma boa repetibilidade nos resultados, com razoável definição do espectro de absorção das substâncias, verificados nos ensaios experimentais. A partir dos dados gerais obtidos, verificou-se limitações no âmbito

da resolução espectral apresentada pelo protótipo o que redirecionou a pesquisa das substâncias àquelas que responderam melhor. A substância com melhor definição da curva de absorção foi adotada para diluição e verificação de limite inferior de sensibilidade. Dados foram obtidos para visualizar um ajuste linear da absorbância relativa *versus* concentração com qualidade adequada para validar o uso do equipamento para o fim que se propôs.

A sensibilidade do colorímetro em função das características e custo de construção se mostrou adequada para a proposta educacional haja vista sua simplicidade, facilidade de instalação, repetibilidade nas medidas e portabilidade. Numa perspectiva futura, a interface via *Python* permite a implementação de métodos computacionais como *Machine learning*, que uma vez submetida a banco de dados aduado poderia aumentar capacidade de identificação da absorção de amostras no limite mínimo. O protótipo pode receber LED dedicado (amarelo, laranja, roxo), tornando-o especializado para o estudo de substâncias em regiões do espectro específicas. Por fim, a implementação da câmera no lugar do sensor de luz ambiente a partir de funcionalidade de aplicativo recentemente disponibilizada no *Hall* do *phyphox* pode representar uma medida espectral mais sensível abrindo novas possibilidades no sentido do trabalho desenvolvido. *Python*.

## Agradecimentos

Ao Programa Mais Ciência da Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes, ao PIBITI-CNPq do IF Fluminense e aos Lab Maker dos campi Campos Centro e São João da Barra do IF Fluminense; Aos professores Luiz Braga e Galvani pela motivação.

## Referências

- [1] S. Becker, P. Klein, A. Gößling e J. Kuhn, *Learning and Instruction* **69**, 101350 (2020).
- [2] H.E. Fischer e R. Girwidz, *Physics Education: Challenges in Physics Education Series* (Springer, Switzerland, 2021).
- [3] L. Sukariasih, L.E. Sahara, L. Hariroh e S. Fayanto, *International Journal of Scientific and Technology Research* **8**, 862 (2019).
- [4] S. Wörner, J. Kuhn e K. Scheiter, *Review of Educational Research* **92**, 911 (2022).
- [5] J. Kuhn e P. Vogt, *Smartphones as Mobile Minilabs in Physics: Edited Volume Featuring more than 70 Examples from 10 Years The Physics Teacher-column iPhysicsLabs* (Springer Nature, Gewerbestrasse, 2023).
- [6] G. Organtini, *Physics experiments with Arduino and Smartphones: Undergraduate Texts in Physics* (Springer Nature, Switzerland, 2021).
- [7] A. Kaps e F. Stallmach, *Physics Education* **57**, 045038 (2022).

- [8] MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, *Base Nacional Comum Curricular*, disponível em: <http://download.basenacionalcomum.mec.gov.br/>.
- [9] E. Lüdke, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **32**, 1506 (2010).
- [10] A.L. Azevedo, A.K.S. Sousa e T.J. Castro, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **41**, e20180349 (2019).
- [11] Stack Overflow, *RGB values of visible spectrum*, disponível em: <https://stackoverflow.com/questions/3407942/rgb-values-of-visible-spectrum>, acessado em: 15/04/2024.
- [12] T. Smith e J. Guild, *Transactions of the Optical Society* **33**, 73 (1931).
- [13] B. Smits, *Journal of Graphics Tools* **4**, 11 (1999).
- [14] B. Yao, L. Zhu, Y. Yang, G. Wang, C. Gu e L. Xu, *Optics Express* **30**, 1036 (2022).
- [15] M.J. Waters, J.M. Walker, C.T. Nelson, D. Joester e J.M. Rondinelli, *Chemistry of Materials* **32**, 5455 (2020).
- [16] G. Saxby, *The Science of Imaging – An introduction* (CRC Press, Boca Ratón, 2011), 2 ed.
- [17] R.P. Feynman, R. Leighton e M. Sand, *The Feynman lectures on Physics – Volume I: Mainly mechanics, radiation, and heat* (California Institute of Technology, California, 1977), 6 ed.
- [18] CIE, disponível em: <http://cie.co.at/>, acessado em: 20/06/2024.
- [19] M.L. Kovarik, J.R. Clapis e K.A. Romano-Pringle, *Journal of Chemical Education* **97**, 2185 (2020).
- [20] B. Bruininks e L.B.F. Juurlink, *Journal of Chemical Education* **99**, 2168 (2022).
- [21] E.K. Grasse, M.H. Torcasio e A.W. Smith, *Journal of Chemical Education* **93**, 146 (2016).
- [22] A. Magro, M. Silva, G. Sousa, F. Cardoso, G. Guimarães, S. Muniz, V. Sarnighausen, M. Fontes e R. Simões, *Educación Química* **31**, 36 (2020).
- [23] D. Stephenson, *Applied Spectroscopy* **70**, 874 (2016).
- [24] F.J. Avila-Camacho, L.M. Moreno-Villalba, G.I. Cerón-Montes, A. Garrido-Hernández, C.A. Cardoso-Chávez e C.J. Pacheco-Piña, *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI* **9**, 19 (2021).
- [25] W.R.F. Silva, W.T. Suarez, C. Reis, V.B. Santos, F.A. Carvalho e E.L. Reis, *Journal of Chemical Education* **98**, 1442 (2021).
- [26] M. Baptista Filho, *Revista de Ciência Elementar* **12**, 19 (2024).
- [27] E.R. Halverson e K. Sheridan, *Harvard Educational Review* **84**, 495 (2014).
- [28] G.S. Feitosa e C.A. Silva, *Revista do Professor de Física* **6**, 124 (2022).
- [29] P. Blikstein, *Digital fabrication and ‘making’ in education: the democratization of invention* (Stanford University, California, 2013).
- [30] S.W. Hobbs, D.J. Paull e J. Haythorpe, *International Journal of Remote Sensin* **40**, 2517 (2020).
- [31] P.C. Biswas, S. Rani, M.A. Hossain, M.R. Islam e J. Canning, *IEEE Sensors Letters* **4**, 4500804 (2020).
- [32] V.B. Santos, W.M.S. Oliveira, J.P.B. Almeida, M.V. Foguel, W.T. Suarez e J.L. Oliveira, *Química Nova* **46**, 924 (2023).
- [33] C.I. Larnder, F. Nebia, M. Livingstone e S. Huang, *International Journal of Technologies in Higher Education* **17**, 43 (2020).
- [34] M.T. Koesdjojo, S. Pengpumkiat, Y. Wu, A. Boonloed, D. Huynh, T.P. Remcho e V.T. Remcho, *Journal of Chemical Education* **92**, 737 (2015).
- [35] J.S. Kim, A.H. Kim, H.B. Oh, B.J. Goh, E.S. Lee, J.S. Kim, G.I. Jung, J.Y. Baek e J.H. Jun, *Bio-Medical Materials and Engineering* **26**, 1773 (2023).
- [36] S. Staacks, S. Huetz, H. Heinke e C. Stampfer, *Physics Education* **53**, 045009 (2018).
- [37] D.A. Skoog, D.M. West e F.J. Holler, *Fundamentos de química analítica* (Cengage Learning, São Paulo, 2009), 8 ed.
- [38] Theremino, *Aplicativo Theremino Spectrometer*, <https://www.theremino.com/pt/>, acessado em: 15/04/2024.