

Caixa de cores: produto educacional para o ensino da física da luz e cor, uma introdução a mecânica quântica

Color Box: Educational Product for Teaching Light and Color Physics, an Introduction to Quantum Mechanics

Naiara Cipriano Oliveira^{*1}, Alex Garcez Gomes de Castro², Jusciane da Costa e Silva³,
Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças²

¹Universidade Regional do Cariri, Museu de Paleontologia Plácido Cidade Nuvens, 63190-000, Santana do Cariri, CE, Brasil.

²Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Centro de Ciências Exatas e Naturais, 59515-000, Angicos, RN, Brasil.

³Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Ciências Naturais Matemática e Estatística, 59625-900, Mossoró, RN, Brasil.

Recebido em 08 de janeiro de 2024. Revisado em 08 de abril de 2024. Aceito em 08 de abril de 2024.

As ondas eletromagnéticas estão presentes em diversas aplicações tecnológicas do cotidiano, desde telecomunicações até questões relacionadas ao aquecimento global e cuidados com a saúde. Assim, a inclusão de produtos educacionais experimentais, expositivos e lúdicos sobre este assunto não pode ser negligenciada no ensino formal. O presente trabalho apresenta a construção de um produto educacional (PE) experimental e interativo que apresenta a dependência da cor em relação à luz visível, assim como o fenômeno da luminescência em alguns materiais quando expostos à radiação ultravioleta. Trata-se de uma câmara escura equipada com lâmpadas nas cores, vermelha, verde e azul, além de uma fonte ultravioleta (UV). O dispositivo foi construído utilizando materiais acessíveis e de baixo custo. As lâmpadas podem ser ligadas independentemente ou em conjunto, e a percepção da cor do objeto dependerá das cores da luz que o ilumina. Portanto, o PE pode ser empregado no estudo da teoria das cores. A inclusão da fonte UV permite a observação da luminescência de objetos quando expostos a ela, fenômeno frequentemente retrato em filmes e séries policiais. Essas substâncias fotoluminescentes estão presentes em diversos materiais, como papel sulfite e sabão em pó.

Palavras-chave: Material instrutivo, Luz visível, Radiação ultravioleta.

Electromagnetic waves play a crucial role in various technological applications in our daily lives, ranging from telecommunications to issues related to global warming and healthcare. Therefore, the inclusion of experimental, expository, and playful educational products on this subject cannot be neglected in formal education. This study introduces the development of an experimental and interactive educational product (EP) designed to elucidate the relationship between color and visible light, as well as the luminescent phenomenon exhibited by certain materials when exposed to ultraviolet radiation (UV). The EP is cost-effective and accessible, comprising a dark box equipped with red, green, blue, and UV lamps. These lamps can be turned on individually or collectively, influencing the perceived color of an object based on the illuminating light's color. Thus, the EP serves as a valuable resource for studying the theory of colors. The inclusion of a UV light source allows for the observation of luminescent properties in objects exposed to it, a feature commonly portrayed in crime movies and TV series. Photoluminescent substances are present in various materials, including sulfite paper and laundry detergent. Consequently, this EP emerges as an effective tool for introducing quantum mechanics concepts in the classroom.

Keywords: Instructional material, Visible light, Ultraviolet radiation.

1. Introdução

A luz é um fenômeno fascinante que permeia o cotidiano da humanidade desde tempos imemoriais, despertando encantamento devido aos seus efeitos diretamente vinculados ao sentido da visão. Desde a pré-história, os seres humanos se reuniam ao redor de fogueiras, onde o controle do fogo, enquanto fonte de luz, proporcionava não apenas calor e segurança, mas também afugentava a escuridão da noite, bem como feras e mosquitos [1].

Segundo Bronowski (1992, p. 123), “a qualidade luminosa parece fazer do fogo uma fonte de vida e uma coisa vivente que nos leva através do mundo oculto e misterioso das entranhas da matéria” [2].

O entendimento da luz tem sido um desafio para os cientistas modernos, e sua natureza, que engloba não apenas a luz visível, tem impulsionado avanços científicos e tecnológicos em diversas áreas, desde a Biologia até a Astrofísica. A compreensão da luz, com a Mecânica Quântica como elemento principal, desempenha um papel fundamental e, portanto, deve integrar o currículo da Educação Básica [3].

*Endereço de correspondência: naiara.cipriano@urca.br

O desenvolvimento do letramento científico do discente é apresentado como um dos desafios das Ciências da Natureza, responsável pelo despertar da capacidade de compreensão e interpretação natural, social e tecnológica do mundo. No contexto do Ensino Fundamental, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) dedica atenção especial à temática matéria e energia, estabelecendo como um dos desafios a habilidade de “planejar e executar experimentos que evidenciem que todas as cores de luz podem ser formadas pela composição das três cores primárias e que a cor de um objeto está relacionada à cor da luz que o ilumina” [4].

A compreensão do mundo é alcançada de forma mais efetivamente por meio do aperfeiçoamento de conceitos do que pela descoberta de fatos novos [4]. Desse modo, os conceitos são fundamentais para a compreensão humana [5]. Nesse sentido, o processo de ensino de Física com metodologias ativas deve envolver o uso de conceitos e conceitualização [6, 7]. A aplicação de princípios físicos é essencial para a compreensão dos fenômenos, enquanto a conceitualização é fundamental para estabelecer uma base sólida de conhecimento científico e tecnológico. Dessa forma, o ensino de Física fundamentado na exploração de ideias, em vez de fórmulas matemáticas, contribui significativamente para o desenvolvimento cognitivo dos discentes.

Diante deste cenário, torna-se necessário empregar metodologias ativas no ensino de Ciências da Natureza, as quais possibilitem a participação efetiva do discente durante o processo de aprendizagem. A utilização dessas abordagens estimula a construção efetiva do conhecimento e a autonomia do estudante [8, 9]. Dentre as metodologias ativas empregadas no ensino de Ciências, destacam-se os aparatos experimentais, considerados ferramentas vantajosas para auxiliar na aprendizagem e no ensino de conceitos físicos [10–12]. Neste trabalho, propomos o uso de um aparato experimental denominado caixa de cores, que permite explorar conceitos relacionados à luz e cor, bem como conceitos introdutórios da Mecânica Quântica no Ensino Fundamental e Médio.

2. A Física das Cores e a Luz Negra

A natureza da luz abrange aspectos profundamente filosóficos da Mecânica Quântica, proporcionando uma compreensão da emissão e absorção de luz pelos átomos. O conhecimento da Física da luz possibilitou explicações acerca da cor do céu, o desenvolvimento de dispositivos ópticos e até mesmo o funcionamento do olho humano. Nos livros didáticos de Física, a luz é apresentada principalmente pelo confronto de ideias sobre sua dualidade onda-partícula, e os relatos sobre o início de sua investigação remontam ao século XVII, quando surgiram duas correntes filosóficas para explicar a sua natureza.

O cientista inglês Isaac Newton (1643–1727) defendia a teoria corpuscular da luz, acreditando que a luz era composta por partículas chamadas corpúsculos. Newton

concebia a luz como pequenas esferas sólidas e extremamente rápidas, movendo-se em trajetórias retilíneas. Ao serem refletidas em um espelho, por exemplo, as partículas de luz se comportavam de maneira semelhante a uma bola lançada contra uma parede [12]. Em contrapartida, o cientista holandês Christiaan Huygens (1629–1695) sustentava que a luz era uma onda. Para Huygens, a luz era composta por impulsos ou ondas simples, propagando-se por um meio que preenchia todo o espaço, chamado éter luminífero. De acordo com sua teoria, cada ponto na frente de onda no éter luminífero atuava como o centro de uma nova vibração que se combinava posteriormente, formando novas frentes de onda [13].

Ao longo da história, muitos cientistas dedicaram-se ao estudo da natureza da luz. A teoria corpuscular da luz, devido à sólida reputação de Newton, foi amplamente aceita por mais de um século. No entanto, apenas no início do século XIX, a teoria ondulatória da luz passou a ser aceita. Isso ocorreu quando o cientista britânico Thomas Young (1773–1829) demonstrou o fenômeno de interferência da luz com sua experiência da fenda dupla [14], e o cientista francês Augustin Fresnel (1788–1827) demonstrou o fenômeno de difração [15], ambos fundamentados matematicamente. Além disso, o cientista escocês James Clerk Maxwell (1831–1879) mostrou, por meio de sua teoria eletromagnética, que a luz é uma onda eletromagnética que se propaga com velocidade constante [16], consolidando assim o modelo ondulatório da luz.

No século XX, o cientista alemão Albert Einstein (1879–1955) contestou a natureza ondulatória da luz ao analisar o efeito fotoelétrico. Em seus trabalhos, Einstein propôs a hipótese de que a luz era emitida e propagada em forma de pulsos discretos, denominados *quantum* de luz [17]. Assim, a luz, que havia sido considerada apenas como uma onda, passou a ser reconhecida também como uma partícula. Essas constatações levaram ao desenvolvimento da teoria da dualidade onda-partícula da luz. Em 1924, o cientista francês Louis-Victor de Broglie (1892–1987) afirmou que toda partícula está associada a uma onda e, da mesma forma, toda onda está associada a uma partícula [18]. Dessa maneira, reconhece-se atualmente que a luz é uma forma de radiação eletromagnética que se comporta tanto como onda quanto como partícula.

O conceito de radiação é definido como a propagação de energia a partir de uma fonte emissora através de qualquer meio. A radiação pode manifestar-se na forma de partículas, como partículas alfa, elétrons, pósitrons, prótons e nêutrons, produzidos por aceleradores de partículas, reatores ou núcleos de átomos radioativos [19]. Ela também pode manifestar-se na forma de ondas eletromagnéticas, como é o caso da luz, considerada uma radiação eletromagnética.

As ondas eletromagnéticas são formadas pela combinação dos campos elétricos e magnéticos, perpendiculares entre si, que se propagam no vácuo com uma

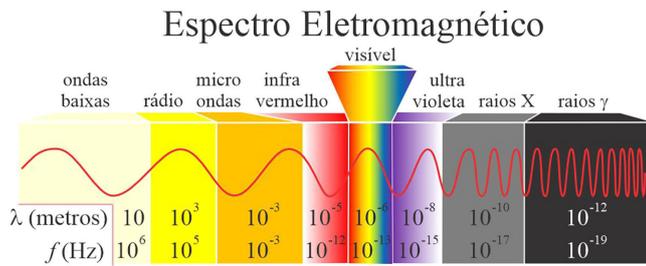


Figura 1: Espectro eletromagnético, com destaque para a luz visível.

velocidade constante de aproximadamente 300 milhões de metros por segundo. O espectro eletromagnético, ilustrado na Figura 1, engloba a variedade de ondas eletromagnéticas presentes na natureza, cada uma caracterizada por suas propriedades, como comprimento de onda (λ), frequência (f) de oscilação e energia. Embora o Sol emita luz com um amplo espectro de comprimentos de onda, a visão humana é sensível apenas a uma faixa limitada, conhecida como espectro visível.

O espectro da luz visível corresponde a uma faixa aproximada de comprimentos de onda, que pode variar de 370 a 780 nanômetros (nm). Isaac Newton, em seus estudos sobre óptica, observou que a luz branca do Sol se dispersava nas cores do arco-íris ao passar por um prisma de vidro e ser refratada. Atualmente, sabe-se que as cores percebidas por Newton correspondem ao espectro visível, e cada cor está associada a uma radiação monocromática com um comprimento de onda específico para a propagação da luz no vácuo. Em outros meios de propagação, as cores são comumente associadas às suas faixas de frequências [20].

A visão humana é capaz de perceber as cores devido às sensações cromáticas causadas pelas radiações distintas. Um exemplo desse fenômeno é a sequência de cores espectrais que formam o arco-íris: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil, violeta e todas as suas variações de tonalidades [21]. As radiações com comprimento de onda menores que 370 nm e maiores que 780 nm são invisíveis à visão humana e são denominadas de radiações ultravioleta (UV) e infravermelha (IR), respectivamente, conforme destacado na Figura 1.

A interação da luz com a matéria resulta em alguns fenômenos físicos relacionados às propriedades ópticas do material. Para materiais não metálicos, temos a refração, que ocorre quando a luz atravessa entre dois materiais transparentes. Neste caso, os fótons continuam seu caminho, mas com velocidade diferente, causando uma mudança no ângulo de incidência da luz, dependendo de sua energia e do índice de refração entre os materiais, podendo atravessar o material e ser emitida novamente para o mesmo meio. No entanto, nem todos os fótons passam de um meio para outro; uma parcela da luz é dispersa na interface entre os meios, fenômeno conhecido como reflexão. O fenômeno de absorção da luz está associado à transição eletrônica dos elétrons da

camada de valência. Os materiais capazes de transmitir a luz visível são denominados transparentes, enquanto os que impedem a transmissão são denominados opacos. Materiais transparentes podem se apresentar coloridos devido à absorção seletiva de certos comprimentos de onda, sendo a cor observada resultado dos comprimentos de onda refletidos [22]. Assim, a cor da luz refletida depende das características do objeto iluminado, como sua cor-pigmento.

No entanto, as radiações invisíveis, especialmente a luz UV, também chamada de luz negra, pode apresentar um efeito visual em alguns objetos quando iluminados por ela e na ausência de luz visível. Alguns materiais são capazes de absorver a energia e então reemitir luz visível; esses materiais são chamados fotoluminescentes. Neste caso, quando a luz incide sobre um material, é absorvida, gerando um excesso de energia e provocando uma transição dos elétrons do material para uma camada de maior energia (fotoexcitação). Ao decair, este elétron emite um fóton, resultando na fotoluminescência [22, 23].

Em geral, o fenômeno de luminescência pode ser observado em materiais naturais, como dentes e ossos, devido à presença de substâncias químicas fosforescentes, assim como em polímeros e compostos orgânicos com estruturas aromáticas [24, 25]. Um exemplo notável é a quinina, um composto orgânico encontrado na água tônica, que exibe fluorescência quando exposto à radiação ultravioleta [26]. Com base nesses pressupostos, foi elaborado um produto educacional para o ensino da Física da luz e cores, assim como de conceitos introdutórios da Mecânica Quântica.

3. Materiais Utilizados e Construção

A presente proposta de Produto Educacional (PE) tem como objetivo investigar como um objeto de uma cor específica se apresenta ao observador quando iluminado por uma fonte de luz de cor primária ou por uma fonte de luz UV. Ao utilizar o PE, o discente terá a oportunidade de visualizar diretamente os efeitos da iluminação no objeto, bem como o seu comportamento ao ser iluminado por uma fonte de luz UV no interior de uma câmara escura.

O termo “caixa de cores” é comumente empregado na literatura, embora não haja uniformidade quanto ao tipo de construção. Campos et al. (2017) desenvolveram uma caixa escura contendo figuras com diferentes pigmentos, iluminadas com as cores primárias em seu interior. Os discentes, então, observavam e registravam as cores resultantes [27]. Por outro lado, Costa et al. (2008), confeccionaram uma caixa de cores na qual as luzes primárias eram projetadas em uma parede, permitindo a identificação da interação entre as diferentes cores de luz [28].

O PE proposto consiste em uma câmara escura feita de madeira, contendo quatro lâmpadas em seu interior. Essas lâmpadas podem ser acesas individualmente ou

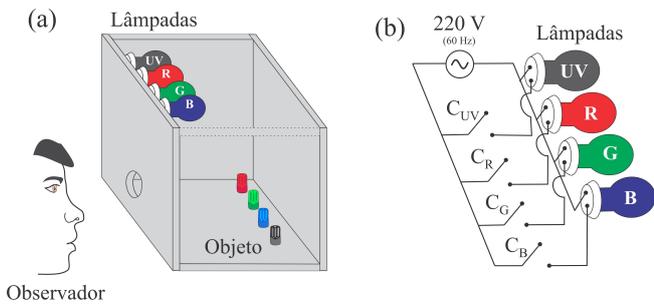


Figura 2: (a) Figura esquemática do produto educacional com o observador e as lâmpadas internas. (b) Esquema de montagem do circuito para o controle individual do acionamento das lâmpadas.

em conjunto, controladas por interruptores localizados na parte externa da caixa. A Figura 2(a) apresenta uma representação esquemática do aparato, destacando a posição das lâmpadas no interior da caixa, bem como a disposição dos objetos e do observador.

O observador visualiza os objetos iluminados pela abertura frontal e pode controlar o acionamento das lâmpadas. A caixa é construída de forma que a luz externa não penetre na parte interna, permitindo que os objetos colocados do ponto de visualização sejam iluminados apenas pelas lâmpadas internas. A montagem elétrica do circuito é mostrada na Figura 2(b), em que são apresentadas as chaves C_{UV} , C_R , C_G e C_B responsáveis pelo acionamento individual das lâmpadas UV (ultravioleta), vermelha (R, do inglês *red*), verde (G, do inglês *green*), azul (B, do inglês *blue*), respectivamente. É importante ressaltar que a construção e montagem do circuito devem ser realizadas com segurança por uma pessoa devidamente familiarizada e experiente na montagem de circuitos elétricos.

Os materiais utilizados para a construção do PE incluem madeira para a confecção da caixa escura, com dimensões de 27 cm × 27 cm × 34 cm, três lâmpadas coloridas (vermelha, verde e azul) de 220V e 5W cada, uma lâmpada UV de 220V e 27W. Lâmpadas deste tipo são compostas por um conjunto de LEDs individuais na cor específica, e, portanto, emitem na cor de interesse. Com a finalidade de identificar o espectro de emissão de cada lâmpada, foi utilizado uma rede de difração com 1000 linhas por milímetro. A Figura 3 apresenta o espectro individual de cada uma das lâmpadas. Em

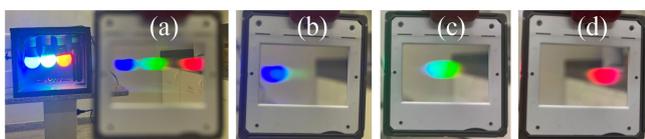


Figura 3: Espectro da luz das lâmpadas, em conjunto e individualmente, utilizando a grade de difração (a) quando acesas simultaneamente e espectro individual de cada uma das lâmpadas: (b) azul, (c) verde e (d) vermelha.

(a) todas as lâmpadas estão acesas simultaneamente, enquanto em (b), (c) e (d), cada uma das lâmpadas (azul, verde e vermelha, respectivamente) está acesa individualmente. O uso da grade de difração evidencia que a emissão de luz de cada uma das lâmpadas é da mesma cor indicada. Portanto, quando as três lâmpadas estão acesas, temos uma boa emissão dentro do espectro da luz visível, característica própria da qualidade da luz emitida via LED.

O espectro da lâmpada UV se apresenta na grade de difração como uma suave mancha violeta, de difícil captura fotográfica. Por este motivo, não está apresentado neste trabalho. A emissão dessa luminosidade visível tem como objetivo auxiliar o usuário a identificar se a lâmpada UV está ligada ou desligada [29]. Sendo assim, com o uso da grade de difração, foi possível visualizar o espectro da luz das lâmpadas e conseqüentemente as cores emitidas.

Para a fabricação do PE, também foram utilizados parafusos para a construção da câmara e fixação dos materiais, além de interruptores, fios e tomadas para a montagem da câmara escura e do circuito. As lâmpadas utilizadas são facilmente encontradas no comércio, sendo recomendado o uso de lâmpadas de LED devido ao seu espectro de emissão mais específico para cada cor, em comparação com alguns modelos de lâmpadas incandescentes e fluorescentes.

A Figura 4 apresenta o PE, com a tampa superior aberta, permitindo visualizar os bocais das lâmpadas e os interruptores, bem como as três lâmpadas das cores primárias e a fonte UV. Exibe ainda os objetos iluminados no interior do PE, como as tampas de pincéis de lousa branca nas cores azul, vermelha, verde e preta. Outro material utilizado inclui braçadeiras de plástico nas cores laranja, vermelha, verde, branca, preta e amarela. Além disso, são utilizados líquidos, como água de torneira e água tônica em béqueres, juntamente com uma bolinha de tênis de mesa na cor branca. Embora experimentos desse tipo possam ser conduzidos em uma sala escura, a utilização da caixa apresenta a vantagem da portabilidade, permitindo seu uso em espaços abertos



Figura 4: Imagem da caixa de cores já montada e dos principais materiais utilizados.

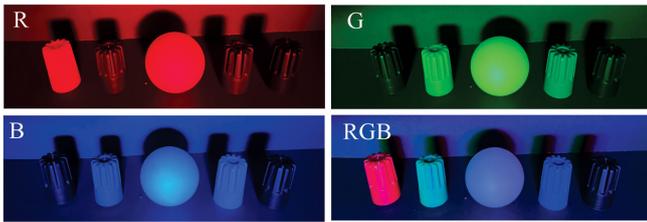


Figura 5: Objetos iluminados com as luzes RGB.

durante o dia, eliminando a necessidade de preparar uma sala exclusiva para essa atividade.

4. Procedimentos Experimentais

A seguir, apresentaremos alguns procedimentos experimentais que demonstram possíveis utilizações da caixa de cores para aplicação em sala de aula. É importante destacar que, em geral, a fotografia não reproduz a imagem exatamente como os olhos de um observador a veriam. Há uma variação de cores e tonalidades que pode resultar em diferentes interpretações da cor de um mesmo objeto sob uma iluminação específica. Essas variações podem ser indicadas pelo Índice de Reprodução de Cores (IRC), que mede o quão próxima uma iluminação artificial, como uma lâmpada, reproduz as cores dos objetos por ela iluminada. Este índice varia de 0 a 100 [30].

Além disso, há o índice chamado lúmen, que mede o quanto a luz é capaz de iluminar um ambiente, ou seja, informa o fluxo luminoso de uma fonte de luz pontual. O parâmetro do fluxo luminoso não se aplica à lâmpada UV, pois o mesmo é medido em termo da radiação visível [31]. Já para as lâmpadas coloridas, o fluxo luminoso é indicado como decorativo nas especificações do produto [32]. É importante ressaltar que estas lâmpadas não foram construídas para uso em experimentos e materiais didáticos. Por esta razão, há um número reduzido de informações técnicas disponíveis. Mesmo com essas limitações, seu uso nesta proposta se apresenta de modo bastante satisfatório.

4.1. Iluminação RGB

Nesta subseção, serão apresentados os procedimentos experimentais e os resultados obtidos com o uso das três lâmpadas nas cores R, G e B, resultando em sete combinações possíveis de acendimento. Os resultados apresentados referem-se tanto ao acendimento individual das lâmpadas quanto ao acendimento simultâneo das três. Ao observar as imagens, é possível perceber a presença de sombra nos objetos. Na subseção seguinte, que trata do uso da fonte de luz UV, observa-se a ausência de sombras. Essa informação é de extrema importância para a compreensão da iluminação com a luz UV.

A Figura 5 exibe os objetos utilizados, que são as tampas dos pincéis nas cores vermelha, verde, azul e preta, e uma bolinha de tênis de mesa na cor branca. Esses objetos estão sendo iluminados com as lâmpadas nas cores R, G, e B, além de estarem todas acesas simultaneamente, formando a combinação RGB. Objetos coloridos absorvem determinadas radiações e refletem outras, resultando na cor que percebemos. Observe como a cor do objeto aparenta quando iluminado por uma dessas cores. Ao ligar as três lâmpadas simultaneamente, é possível visualizar como o objeto se apresenta à luz natural, ou seja, identificando a luz comum como resultante da combinação das cores primárias. Esse processo é chamado de síntese aditiva, pois a radiação obtida resulta da soma das ondas das radiações iniciais.

Para explicar a visualização de objetos iluminados por uma determinada cor, Einstein e Infeld (2008) sugerem o seguinte experimento mental:

Imaginemos que repentinamente aconteça uma coisa muito estranha: o nosso Sol começa a emitir apenas a luz homogênea de uma cor definida, digamos, amarelo. A grande variedade de cores na Terra se desvaneceria imediatamente. Tudo seria amarelo ou preto [33].

Concluem ainda que a afirmação acima pode ser comprovada pela seguinte experiência real:

Em uma sala na qual a única fonte de luz é o sódio incandescente, tudo é amarelo ou preto. A riqueza de cores do mundo reflete a variedade de cores que é composta a luz branca [33].

4.2. Iluminação ultravioleta

A luz UV apresenta um efeito visual intrigante ao observar certos objetos iluminados por ela em um ambiente sem luz visível. Com a fonte de luz UV, ocorre a emissão de luz visível pelo objeto, criando o efeito de luminescência. Portanto, é possível identificar a ausência de sombras nos objetos quando iluminados pela luz negra. A Figura 6 mostra a iluminação com a luz branca, RGB e luz UV. Como pode ser observado, sob a luz UV, as abraçadeiras têm seu brilho acentuado, destacando-se mais do que quando estão sob a luz RGB. A abraçadeira preta absorve toda a luz UV, não emitindo luz e, portanto, praticamente desaparece na imagem.

Na Figura 7 são apresentados dois béqueres, um com água tônica (à esquerda) e outro com água natural (à direita), em três casos: (a) iluminados com a luz natural, RGB; (b) luz RGB e UV simultaneamente; e (c) apenas com a fonte UV. A água tônica emite luz quando exposta à fonte UV, devido à presença do sulfato de quinina ou quinino, um composto orgânico utilizado na bebida para conferir-lhe o sabor amargo. A emissão da água tônica sob a luz UV é nítida, mesmo

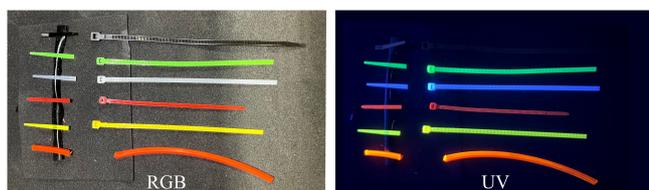


Figura 6: Abraçadeiras iluminadas com lâmpadas RGB e fonte de luz ultravioleta (UV).

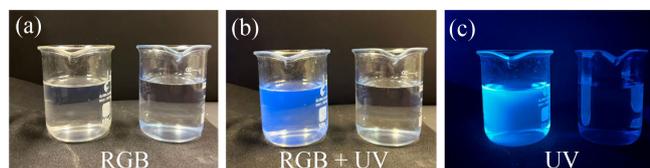


Figura 7: Béqueres com água tônica (à esquerda) e água de torneira (à direita) iluminados, (a) com luz natural, RGB, (b) luz UV mais a luz natural, RGB, e (c) somente luz UV.

quando iluminada simultaneamente pelas RGB e UV. Sua emissão é especialmente evidente quando há apenas a luz UV, como destacado na Figura 7(c). Além disso, outro aspecto de interesse é a possibilidade de identificar a direção da emissão da radiação UV, observando-se o lado do líquido onde o efeito é mais evidente. É relevante mencionar a ausência de sombras no recipiente com a água tônica, devido à emissão de luz visível quando exposta à fonte UV, conforme explicado anteriormente na Figura 6 para a fonte UV.

4.3. Ultravioleta, CSI e filtro solar

A fonte de luz UV é uma ferramenta amplamente empregada pela polícia forense em cenas de crimes com o propósito de revelar materiais ocultos que podem auxiliar na elucidação deles. Sua utilização possibilita a identificação de substâncias orgânicas, como sangue, sêmen, saliva e urina, mesmo quando presentes em quantidades pequenas ou na forma de vestígios [34]. Ao direcionar a luz UV para uma área suspeita, os materiais investigados, caso contenham tais substâncias, passarão a emitir brilho devido à absorção da radiação UV e à subsequente emissão de luminescência por parte dos componentes orgânicos presentes nesses materiais. Essa luminescência pode ser visualizada com o auxílio de óculos especiais ou de câmeras sensíveis a luz UV.

Portanto, é comum observar a utilização dessa técnica em cenas de séries e filmes com a temática de investigação criminal, como em CSI (do inglês, *Crime Scene Investigation*). Além disso, a fonte de luz UV pode estar associada ao uso do luminol, um composto químico que reage com o ferro presente no sangue, resultando na emissão de luminescência. O luminol é frequentemente empregado em cenas de crime para evidenciar manchas ou padrões de respingos de sangue que foram limpos ou ocultados [34].

Os filtros ou bloqueadores solares têm a função de bloquear os raios UV provenientes da luz solar, os quais podem ser prejudiciais à pele. Esses filtros solares são desenvolvidos com o propósito de servirem como uma barreira de proteção, refletindo a radiação UV. A radiação UV se divide ainda em três faixas de acordo com o seu comprimento de onda e , conseqüentemente, sua penetrabilidade nas camadas da pele. A radiação UV do tipo A (UV-A), com comprimento de onda entre 315 e 400 nm, é a radiação que induz à mudança de pigmentação da pele, promovendo o bronzeado devido à síntese da melanina, o que resulta em um escurecimento da pele. Essa radiação é a mais abundante na superfície terrestre, correspondendo, no verão, a aproximadamente 96,5%. Já a radiação UV do tipo B (UV-B) representa em torno de 3,5% no verão. No entanto, esses valores podem variar dependendo da estação do ano devido à órbita elíptica da Terra e do hemisfério [35, 36].

A radiação UV-B, 280–315 nm de comprimento de onda, apresenta efeitos positivos e negativos sobre a pele. É responsável pela síntese da vitamina D, mas sua exposição excessiva pode ocasionar queimaduras, fotoenvelhecimento, eritemas e lesões de DNA. A radiação UV-C, 100–280 nm de comprimento de onda, é extremamente prejudicial ao humano. Felizmente, não está presente na superfície terrestre exposta ao Sol, sendo encontrada apenas pequenas quantidades em altitudes elevadas, sendo quase totalmente absorvida pela camada de ozônio na estratosfera. A penetrabilidade dessas ondas na pele tem ordem inversa do seu comprimento de onda, tornando o UV-B muito mais eficaz do que o UV-A em causar danos biológicos. O UV-B solar contribui com cerca de 80% para a maioria dos efeitos nocivos associados à exposição solar, enquanto o UV-A solar está associado aos 20% restantes [35, 37, 38].

Para comprovar didaticamente a efetividade dos filtros solares, foi utilizado como anteparo para a luz negra papel sulfite de cor branca, o qual contém um material fotoluminescente em sua composição. Os fabricantes incorporam essa substância para realçar a sensação de brancura do papel quando observado à luz natural, o que, em alguns casos, resulta em um aspecto azulado [39]. Esse efeito ocorre devido à capacidade do material fotoluminescente de emitir luz visível após absorver a radiação UV presente na luz natural. Da mesma forma, o sabão em pó contém uma substância alvejante que também é fotoluminescente quando exposta à radiação UV [40]. Essa substância é utilizada para a remoção de manchas e clareamento de tecidos.

Considerando as propriedades do filtro solar como um bloqueador de raios UV e do alvejante presente no sabão em pó como um clareador e emissor luminescente, foi utilizado um carimbo confeccionado em uma impressora 3D para marcar um papel sulfite de cor branca com filtro solar, e um papel cartão na cor preta foi marcado com água e sabão em pó.

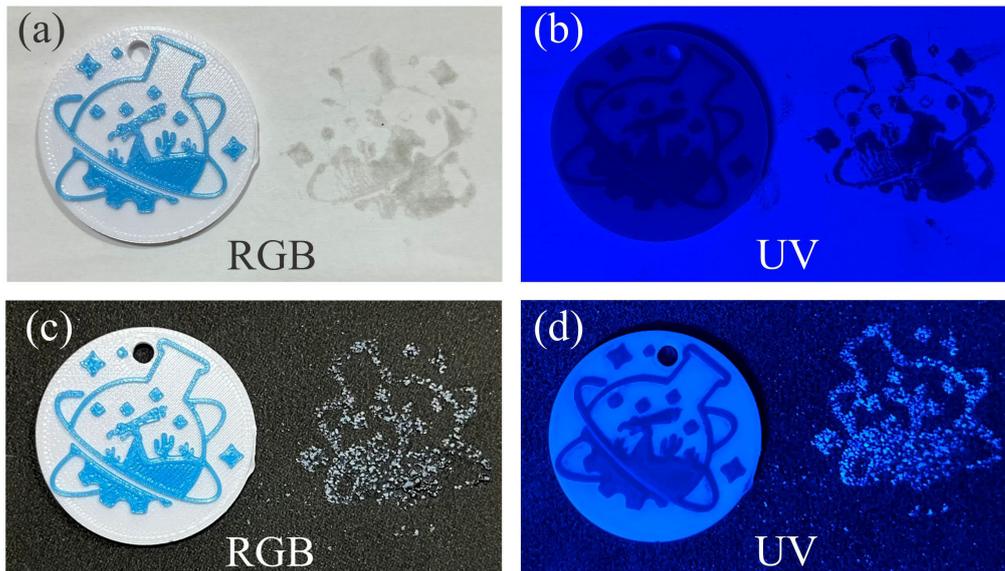


Figura 8: Objeto 3D usado como carimbo sobre o papel sulfite de cor branca e sobre o papel cartão de cor preta iluminado com luzes RGB e UV.

Na Figura 8(a) e (b), são apresentadas duas fotografias do carimbo ao lado de sua marca sobre o papel sulfite de cor branca. Neste caso, o bloqueador solar foi espalhado na superfície do carimbo. Quando o carimbo é iluminado com (a) luz natural é possível visualizá-lo na forma de uma marca d'água devido à presença do filtro solar. Em (b), temos a mesma situação, mas sob a fonte UV, em que o filtro solar bloqueia a radiação UV que atingiria aquela região do papel e, conseqüentemente, resulta na ausência local de luminescência. Neste caso, é possível identificar detalhes não visíveis sob a luz branca, revelando assim vestígios da substância oculta à iluminação de luz natural, como ocorre em uma cena de crime.

Já na Figura 8(c) e (d), foi realizado um processo para gerar o negativo da imagem do carimbo, agora com o uso do sabão em pó. Inicialmente, o carimbo foi umedecido com água de torneira e aplicado sobre o papel cartão de cor preta. Espalhou-se sabão em pó sobre a região do carimbo e, em seguida, foi removido o seu excesso, resultando na concentração de sabão em pó apenas na região mais úmida. Em (c), tem-se a iluminação com luz branca com a visualização do sabão em pó como o negativo da imagem, e (d) a iluminação UV, onde a luminescência do alvejante presente no sabão faz com que a imagem fique mais nítida.

Esta atividade, além de destacar o protetor solar como um bloqueador de raios UV e a propriedade luminescente de certos alvejantes, pode ser adaptada em sala de aula para identificar figuras ocultas sobre o papel sulfite, previamente, feitas pelo docente ou até mesmo pelos discentes. Sendo possível utilizar o protetor solar como uma espécie de tinta invisível sobre o papel sulfite ou até mesmo as partículas de sabão sobre uma superfície escura. Isso promove um momento de descobrimento e

ludicidade, dependendo da faixa etária dos discentes, bem como dos objetivos conceituais da aula.

5. Considerações Finais

O PE apresentou resultados satisfatórios, de forma que a cor do objeto seja identificada não como uma propriedade sua, mas como a reflexão da luz que o ilumina e que é refletida por ele mesmo. Neste caso, introduzindo a reflexão da luz como uma interação entre luz e matéria. Para a fonte UV, é possível identificar a emissão de luz pelo objeto por meio de sua luminescência. Logo, neste caso, o PE proposto pode ser usado como uma ferramenta de introdução ao estudo da interação da luz com a matéria, com ênfase na absorção e emissão de luz. Essa é uma propriedade da estrutura da matéria explicada pela Mecânica Quântica.

Sendo assim, o PE surge como uma ferramenta adicional para o ensino de Física, com potencial para a introdução de elementos da Mecânica Quântica. Ele visa envolver o discente como investigador do conhecimento, possibilitando o exercício e a ampliação de sua curiosidade na construção de seu processo de aprendizagem, deixando de ser apenas ouvinte, conforme sugere a BNCC.

Portanto, o presente PE consiste em uma proposta experimental para aplicação em sala de aula em diversos níveis da Educação Básica, abrangendo do Ensino Fundamental até o Ensino Médio. Além de apresentar uma proposta de explicação das cores do objeto, dependente da luz visível que o ilumina, o PE tem o potencial de inserir elementos interdisciplinares e transversais, como radiação solar, efeitos biológicos da luz, Física e Química Forense, entre outros, sendo ainda um recurso didático para a introdução à Mecânica Quântica.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Ufersa), através da Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, em colaboração com a Universidade Regional do Cariri (URCA) com o apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Referências

- [1] Y.N. Harari, *Sapiens – Uma Breve História da Humanidade* (L&PM, Porto Alegre, 2015), 1 ed.
- [2] J. Bronowski, *A Escalada do Homem* (Martins Fontes, São Paulo, 1992).
- [3] A.A. Brito e N.T. Massoni, *Alexandria Rev. Educ. em Ciência e Tecnol.* **12**, 111 (2019).
- [4] E. Mayr, *O desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança* (Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1998).
- [5] S. Toulmin, *La Comprension Humana: El Uso Colectivo Y La Evolucion De Los Conceptos* (Alianza Editorial, Madrid, 1977), 5 ed.
- [6] M.A. Moreira, *Rev. Bras. Ensino Física* **43**, e20200451 (2021).
- [7] N. Studart, *Rev. do Profr. Física* **3**, 3 (2021).
- [8] N.A.N. Berbel, *Semin. Ciências Sociais e Humanas* **32**, 25 (2011).
- [9] A.L. Alves, Y.B. Motta e A.C.B. Zancanella, *Cad. Bras. Ensino Física* **37**, 2 (2020).
- [10] V.C. Barbosa e A.M.S. Breitschaft, *Rev. Bras. Ensino Física* **28**, 115 (2006).
- [11] R.M. Szmoski, A. Doff, V.M. Lenart, S.K. Schwiderke e L.V.G. Fachini, *Rev. Bras. Ensino Física* **40**, e1505 (2017).
- [12] R.D.A. Martins, C.C. Silva, D. Newton e I. Newton, *Rev. Bras. Ensino Física* **37**, 4202 (2015).
- [13] S. Krapas, G.R.P.C. Queiroz e D. Uzêda, *Cad. Bras. Ensino Física* **28**, 123 (2011).
- [14] B.A. Moura e S.L.B. Boss, *Rev. Bras. Ensino Fis.* **37**, 4203 (2015).
- [15] R.A. de Oliveira, A.F.P. Martins e A.P.B. da Silva, *Cad. Bras. Ensino Física* **37**, 197 (2020).
- [16] F.W.O. da Silva, *Rev. Bras. Ensino Física* **29**, 149 (2007).
- [17] P.H. Dionísio, *Cad. Bras. Ensino Física* **22**, 131 (2005).
- [18] E. Okuno e E. Yoshimura, *Física das Radiações* (Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2010), 1 ed.
- [19] E. Okuno, *Estud. Avançados* **27**, 77 (2013).
- [20] M.F.F. da Silva, *Física na Esc.* **8**, 25 (2007).
- [21] L.M. Silveira, *Introdução à teoria da cor* (UTFPR, Curitiba, 2015), 2 ed.
- [22] W.D. Callister e D.G. Rethwisch, *Ciência e engenharia de materiais* (LTC, Rio de Janeiro, 2016), 9 ed.
- [23] P. Atkins e L. Jones, *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente* (Bookman, Porto Alegre, 2012), 5 ed.
- [24] G.E. Miranda, R.F.H. Melani, L. Francisquini Júnior e E. Daruge Júnior, *Braz. Dent. J.* **28**, 78 (2017).
- [25] C.K.B. De Vasconcelos e R.F. Bianchi, *Polimeros* **17**, 4 (2007).
- [26] A.L.P. Nery e C. Fernandez, *Química Nov. na Esc.* **19**, 39 (2004).
- [27] A. Campos, W.B. de Sousa e T.N. Souza, *Física na Esc.* **15**, 41 (2017).
- [28] G.G.G. Costa, B.A. Cortese, R. Scurachio e T. Catunda, *Física na Esc.* **9**, 2 (2008).
- [29] P.A. Tipler e G. Mosca, *Física para cientistas e engenheiros 2* (LTC, Rio de Janeiro, 2009), 6 ed.
- [30] D.C. Feldman, *Lume Arquitetura*, disponível em: https://www.lumearquitetura.com.br/lume/Upload/file/pdf/Ed_70/ed_70%20At%20-%20IRC.pdf.
- [31] Empalux, *Catálogo de iluminação*, disponível em: <https://empalux.com.br/>.
- [32] Taschibra, *Lâmpada LED Taschibra TKL Colors*, disponível em: <https://taschibrastore.com.br/produtos/detalhes/lampada-led-taschibra-tkl-colors-vermelha/>.
- [33] A. Einstein e L. Infeld, *A evolução da física* (Zahar, Rio de Janeiro, 2008).
- [34] W. Lee e B. Khoo, *Malaysian J. Forensic Sci.* **1**, 17 (2010).
- [35] B.L. Diffey, *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.* **18**, 2 (2002).
- [36] Y. Matsumura e H.N. Ananthaswamy, *Toxicol. Appl. Pharmacol.* **195**, 3 (2004).
- [37] P.U. Giacomoni, G. Jori e D.P. Hader, *Biophysical and Physiological Effects of Solar Radiation on Human Skin* (Royal Society of Chemistry, London, 2007), 1 ed.
- [38] R.R. da Silva, P.F.L. Machado, R.J. da Rocha e S.C.F. Silva, *Rev. Virtual Química* **7**, 218 (2015).
- [39] J.C. Zwinkels e M. Noel, in *Proceedings of the 27th Session of the CIE* (CIE, Sun City, 2011).
- [40] J.R. Pimentel, F.D. Saad, P. Yamamura, C.H. Furukawa e V.H. Zumpano, *Cad. Bras. Ensino Física* **31**, 2 (2014).