

ENSINANDO SOBRE A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA: um experimento tecnológico usando o Arduino

TEACHING ABOUT ULTRAVIOLET RADIATION: A technological experiment using Arduino

Antonio Augusto Soares¹ - UFSCar 

Igor Alberto Duarte² - UFSCar 

RESUMO

Com o objetivo de promover uma atividade experimental interdisciplinar e de cunho tecnológico envolvendo os ensinos de Biologia, Física e Matemática, apresentamos os resultados do desenvolvimento, testes e aplicação de uma proposta experimental tecnológica para o estudo da dinâmica da luminosidade e do índice ultravioleta em função do tempo. Tal abordagem pode levar a uma situação contextualizada para o aprendizado sobre as implicações dessa faixa de radiação eletromagnética, principalmente em seres vivos. São utilizados um resistor dependente da luminosidade e um sensor ultravioleta, ambos conectados ao Arduino para o registro dos dados experimentais. Os resultados obtidos são bons, sendo o experimento adequado para aplicação junto a turmas do ensino médio, contribuindo para uma abordagem contextualizada e interdisciplinar para o estudo dos efeitos biológicos dos raios ultravioleta.

PALAVRAS-CHAVE: Raios ultravioleta; Arduino; Ensino de ciências; Experimento; Análise de dados

ABSTRACT

Aiming to promote an interdisciplinary and technologically oriented experimental activity involving the teaching of Biology, Physics, and Mathematics, we present the results of the development, testing, and application of a technological experimental proposal for the study of the dynamics of luminosity and the ultraviolet index as a function of time. Such an approach can lead to a contextualized situation for learning about the implications of this range of electromagnetic radiation, particularly in living beings. A light-dependent resistor and an ultraviolet sensor, both connected to an Arduino, are used for the recording of experimental data. The results obtained are satisfactory, making the experiment suitable for application with high school classes, contributing to a contextualized and interdisciplinary approach to the study of the biological effects of ultraviolet rays.

KEYWORDS: Ultraviolet rays; Arduino; Science teaching; Experiment; Data analysis

² Doutor em Ciências e Mestre em Física pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Bacharel em Física pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Professor da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). E-mail: aasoares@ufscar.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2728-124X>.

³ Licenciado em Biologia pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). E-mail: igordoart@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7831-044X>.

INTRODUÇÃO

Questões relativas à radiação ultravioleta (UV), seja de origem solar ou artificial, estão presentes em diferentes espaços e contextos da natureza, apresentando implicações nos diferentes reinos. Desta forma, no ambiente escolar, tal tema deve ser apresentado e debatido junto aos estudantes desde tenra idade, buscando formar pessoas conscientes dos efeitos dos raios UV, com habilidades que as permitam compreender suas implicações e aplicações. Por sua vez, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018) propõe que seja discutida a participação do conhecimento científico e tecnológico, dentre outras, nas questões ambientais e na saúde humana, com vistas à contextualização da ciência e da tecnologia. Por exemplo, em sua habilidade EM13CNT103 da competência específica 1, indica que os estudantes devem se valer de conhecimentos relativos às radiações para avaliar potencialidades e riscos quando aplicadas a equipamentos no dia a dia, na saúde, no meio ambiente etc.

Atividades experimentais no ensino de Biologia nos ensinos fundamental (EF) e médio (EM) têm um papel fundamental na construção do conhecimento científico e no desenvolvimento de habilidades essenciais para o aprendizado em diferentes temas. Isso contribui para que os estudantes passem para além da simples, e muitas vezes inócuas, recepção passiva de informações: com isso podem assumir um real protagonismo em seu processo de aprendizagem. Com o acesso aos avanços tecnológicos ocorrendo atualmente de forma relativamente fácil, algumas abordagens outrora impensáveis pois, por exemplo, apresentavam alto custo, passam a ser possíveis. Assim, recursos tecnológicos disponíveis, tais como o Arduino, seus sensores, e ferramental computacional, permitem o desenvolvimento de atividades experimentais que instigam a formulação de hipóteses, permitem a análise de dados, a interpretação de resultados e a comunicação de suas conclusões, promovendo o desenvolvimento de um olhar crítico e questionador sobre o mundo natural além de uma aprendizagem mais significativa e contextualizada. Como apontam Araújo e Freitas (2019), atividades experimentais no ensino de Biologia têm potencial para proporcionar uma aprendizagem mais significativa e integradora, pois propiciam aos estudantes o contato e a visualização de eventos que vivenciam em seu dia a dia.

Considerando o uso da tecnologia envolvendo o Arduino e buscando um ensino de Biologia através da criação de modelos, Ari e Meço (2021) realizaram um estudo a partir do desenvolvimento, pelos estudantes, de cinco projetos relacionados ao corpo humano. Nesse estudo, verificaram uma maior evolução na média das notas obtidas pelo grupo exposto à atividade quando comparado ao grupo de controle. Lockridge e Dorgan (2024) desenvolveram junto aos estudantes um aparato usando o Arduino para coleta de dados oceânicos capaz de medir a temperatura da água em função da profundidade e do tempo. Os estudantes analisaram os dados usando o software MatLab, comparando seus resultados com os de uma estação profissional de monitoramento oceânico. Esses autores apontam para o fato de que a atividade muito contribuiu para o engajamento dos estudantes quando comparado às situações em que o mesmo curso foi ministrado sem o desenvolvimento desse aparato experimental. Por sua vez, Castro e Santos (2020) desenvolveram uma estação meteorológica de relativo baixo custo usando o Arduino junto a estudantes do EM. Como apontam os autores, o desenvolvimento da atividade permitiu aos estudantes maior atenção para situações cotidianas e, ao mesmo tempo, de natureza acadêmica, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades e competências necessárias dentro e fora do ambiente escolar.

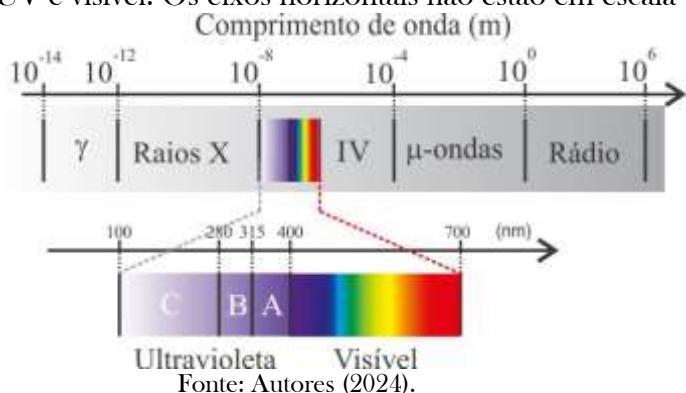
Apesar dos exemplos mencionados, publicações e propostas relacionadas ao uso do Arduino no contexto do ensino de Biologia são escassas, constatação essa também feita por Ari

e Meço (2021). Buscando contribuir com o tema, aqui apresentamos uma proposta experimental que, dentro do tema que aborda, tem por objetivo integrar os ensinos de Biologia, física e Matemática, apresentando uma montagem com o Arduino que permite medir o índice UV (IUV) e a luminosidade ao longo de um dia de exposição ao Sol. Com os dados obtidos é possível construir gráficos do IUV e da luminosidade em função do tempo, permitindo a visualização da dinâmica dessas propriedades físicas ambientais à medida que as horas do dia avançam e propiciando a análise e discussão de suas implicações do ponto de vista biológico.

RAIOS ULTRAVIOLETAS NO CONTEXTO BIOLÓGICO

Os raios UV constituem uma classe de radiação eletromagnética localizada entre os raios X e a radiação visível (luz visível) conforme ilustrado na figura 1. Seus comprimentos de onda vão desde 100nm até 400nm, sendo sua principal fonte o Sol e constituem conteúdo programático atribuído, geralmente, à Física.

Figura 1 – Ilustração do espectro eletromagnético. Na parte inferior, destaque para as faixas UV e visível. Os eixos horizontais não estão em escala



Fonte: Autores (2024).

Os raios UVC (100nm - 280nm) são amplamente atenuados pela atmosfera. Por outro lado, os raios UVB (280nm - 315nm) e UVA (315nm - 400nm) atravessam a atmosfera terrestre, expondo a superfície e os entes nela presentes a seus efeitos que podem ser tanto benéficos quanto maléficos.

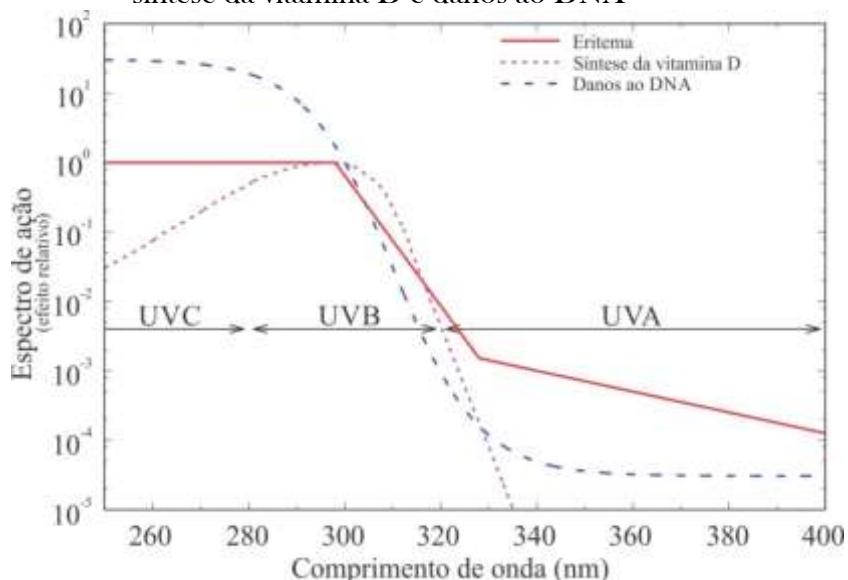
A intensidade dos raios UV na superfície do planeta Terra depende, por exemplo, dos gases que compõe a atmosfera, volume de nuvens, latitude, longitude e altitude. Por exemplo, localidades mais elevadas estão mais expostas à esse tipo de radiação (Corrêa, 2015) (Kinlin, et al., 2007) e em latitudes opostas, os picos de intensidade dos raios UV são mais intensos no hemisfério sul (McKenzie, et al., 2009). Além disso, há dependência com a época (estação) do ano e, principalmente, o horário do dia, sendo o índice ultravioleta mais elevado no verão por volta do meio-dia.

Do ponto de vista biológico, o UVB tem como efeito as queimaduras por exposição excessiva ao Sol (eritema) e podem aumentar os riscos de desenvolvimento de câncer de pele. O UVA, além de estar relacionado ao surgimento do câncer de pele, é responsável pelo envelhecimento precoce da pele. A exposição tanto ao UVA quanto ao UVB também pode levar à condição de diminuição da imunidade (imunossupressão) (Gallagher, et al., 2010). Por outro lado, esses mesmos raios podem trazer benefícios. Por exemplo, sistemas de esterilização que se valem dos raios UVC são capazes de eliminar tipos microbianos sendo, portanto, uma importante

ferramenta em ambientes hospitalares. Além disso, a exposição adequada ao UVB é responsável pela síntese da vitamina D (Gallagher, *et al.*, 2010).

A figura 2 apresenta o espectro de ação das diferentes faixas da radiação ultravioleta em relação às implicações no surgimento de eritema (linha contínua), na síntese da vitamina D (linha pontilhada) e nos danos ao DNA (linha tracejada).

Figura 2 – Espectros de ação dos raios UV em relação ao surgimento de eritemas, síntese da vitamina D e danos ao DNA



Fonte: Adaptada de (McKinlay, *et al.*, 1987).

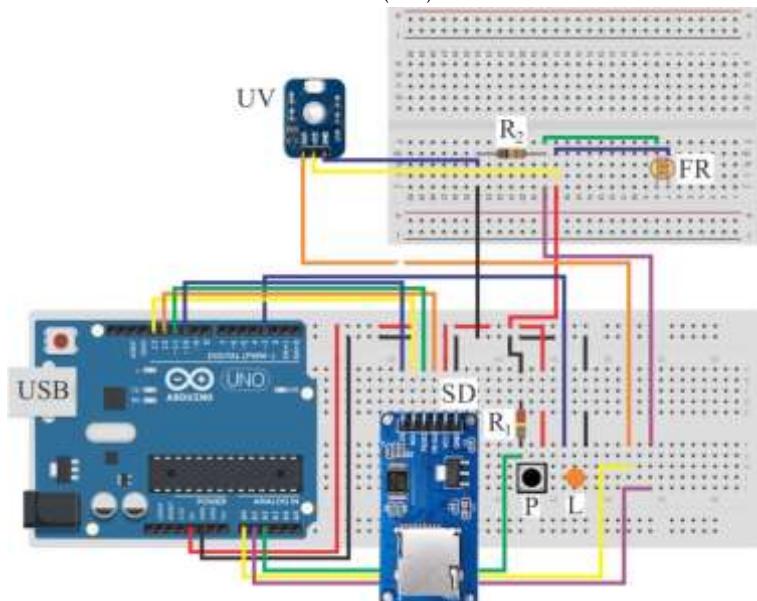
De acordo com o gráfico apresentados na figura 2, a síntese da vitamina D (linha pontilhada) é majoritariamente estimulada pelo UVB sendo, nessa faixa, os raios de comprimento de onda menores os de maior ação. Por sua vez, o UVA com comprimentos de onda superiores a 330nm apresentam pouca ou nenhuma ação na síntese da vitamina D.

Em relação aos danos causados ao DNA (linha tracejada), a faixa UVC apresenta grande ação, porém esses raios são amplamente absorvidos pela atmosfera, praticamente não chegando ao nível do solo. Apesar disso, de acordo com a figura, há riscos de ocorrer danos ao DNA quando nos expomos às faixas UVA e UVB. Já em relação ao eritema (linha contínua), podemos observar que tanto os raios UVA quanto os UVB apresentam alta ação no processo de queimadura solar da pele, sendo justamente essa a faixa de proteção oferecida por produtos destinados ao bloqueio solar (filtros solares, por exemplo).

O EXPERIMENTO E SUA APLICAÇÃO

A figura 3 apresenta uma representação esquemática da montagem experimental que deve ser alimentada eletricamente usando um carregador de celular (5V) conectado à porta indicada por USB. Como pode ser observado, foram utilizadas duas protoboards para a construção do circuito elétrico. A maior, na parte de baixo da figura 3, comporta o Arduino, o módulo e o cartão de memória (SD), o botão de acionamento (P) e o LED (L) que acende quando o registro dos dados é iniciado e também pode indicar falha na coleta de dados se estiver piscando.

Figura 3 – Ilustração esquemática da montagem experimental mostrando o Arduino, o módulo de cartão (SD), o botão de acionamento (P), o LED (L), o sensor UV e o fotoresistor (FR).



Fonte: Autores (2024).

Já a protoboard menor (na parte de cima da figura 3), traz o sensor UV e o fotoresistor (FR) utilizado como sensor de luminosidade, pois sua resistência elétrica varia a depender da quantidade de luz que o atinge. Essa separação permite que apenas os sensores de medida fiquem expostos ao ambiente externo iluminado, preservando os demais componentes que podem ficar em ambiente coberto e protegido. Ainda, estando o sensor UV conectado ao Arduino por fios flexíveis (cabos tipo *jumpers*), é possível movê-lo e afixá-lo de forma que fique paralelamente alinhado em relação ao solo. Embora não mostrado na figura, o fotoresistor deve ser coberto com um material translúcido (copinho de café, por exemplo) para limitar a incidência de luz solar, evitando a saturação do sinal: sem essa precaução o sinal analógico advindo do fotoresistor apresentará sempre valor máximo.

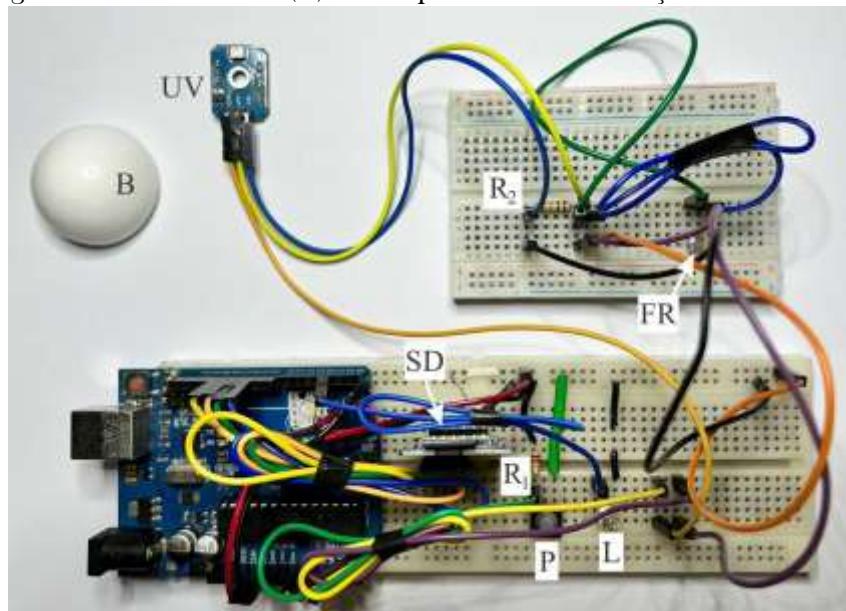
O sensor UV utilizado envolve o microcontrolador 8521 e é capaz de detectar raios UV com comprimentos de onda entre 200nm e 370nm, portanto cobrindo partes das faixas UVA e UVC e toda a faixa do UVB. Deve ser conectado aos pinos 5V e GND do Arduino para alimentação enquanto seu terminal de saída (*out*) deve ser conectado a uma porta analógica, neste caso usamos a A0. O resistor R1 = 220kΩ tem como função limitar a diferença de potencial elétrico que alimenta o LED, evitando que seja danificado, e o R2 = 10kΩ atua em série ao LDR que, por sua vez, deve ser conectado à porta A1.

O botão indicado por P, do tipo *push button*, está conectado à porta A2 e tem como função dar início ao processo de coleta de dados, isto é, enquanto ele não for pressionado, os dados coletados pelos sensores não são registrados no cartão. Isso evita que dados inválidos sejam registrados enquanto os estudantes procedem com a correta fixação do dispositivo. Uma vez pressionado o botão, o LED se acende para indicar que os dados já estão sendo registrados, portanto não se devendo mover ou obstruir os sensores. Se após iniciado o registro de dados o LED apagar ou começar a piscar significa que o processo de gravação dos dados no cartão parou, sendo necessário reiniciar o experimento.

A figura 4 mostra uma fotografia da montagem experimental, tal qual o esquema mostrado na figura 3, pronta para ser levada a campo para a relaização do experimento. Nela é possível observar o material utilizado para atenuar a quantidade de luz solar incidente sobre o LDR (hemisfério branco B), evitando a saturação do sinal, isto é, registro de um mesmo valor numérico máximo para diferentes intensidades da luz solar. Durante o experimento, tanto o LDR quanto o sensor UV devem ter suas faces paralelas ao solo, voltadas para cima e sem obstruções à incidência da luz solar.

A montagem do circuito, considerando as conexões de seus componentes eletrônicos, pode ser feita em parceria com o professor de Física, permitindo colocar em prática os conceitos previamente estudados relacionados aos componentes e aos circuitos elétricos.

Figura 4 - Fotografia da montagem experimental mostrando os componentes conforme a figura 3 e o hemisfério (B) usado para evitar a saturação do sinal do LDR



Fonte: Autores (2024).

Para que o processo de coleta e armazenamento dos dados no cartão de memória ocorra, é necessário carregar no Arduino o código apresentado no Apêndice 1. De acordo com esse código, o intervalo de tempo entre dois registros consecutivos de dados é de 10 segundos, perfazendo o total de 360 pontos experimentais por hora de experimento. Como o objetivo é compreender a variação do IUV e da luminosidade ao longo de um dia inteiro, o ideal é que o experimento seja iniciado logo pela manhã e finalizado ao por do Sol.

A aplicação da atividade em sala de aula teve como objetivo validar o experimento em uma situação didática real e avaliar de forma observacional e qualitativa sua implicação no engajamento dos estudantes em relação à apresentação do tema abordado. Essa etapa do trabalho ocorreu com uma turma de dez estudantes participantes de uma atividade não curricular denominada Clube de Ciências em uma escola de tempo integral da rede pública de ensino no interior do estado de São Paulo. A abordagem, de cunho interdisciplinar, buscou integrar Biologia, Física e Matemática através do estudo, tanto teórico quanto experimental, dos raios ultravioletas e suas implicações à natureza.

Na semana anterior à realização do experimento propriamente dito, ocorreu uma abordagem teórica dialógica onde foram discutidos o espectro eletromagnético e a localização

relativa da radiação UV frente aos demais tipos de radiação (ver figura 1). Nesse momento também foram discutidas as implicações, tanto positivas quanto negativas, dos raios UV, tendo ampla participação dos estudantes. Ainda, foram apresentadas algumas perguntas balizadoras para que os estudantes pudessem pesquisar na internet sobre o tema, complementando o que fora discutido no Clube de Ciências e trazendo o material selecionado para a aula seguinte.

A montagem experimental foi apresentada pronta ao final desse primeiro encontro, isto é, os estudantes não montaram o dispositivo. Nesse primeiro contato com a montagem experimental foi realizada uma explicação detalhada sobre a função de cada elemento do circuito. Também ocorreu um breve teste do aparato dentro da sala de aula, permitindo aos estudantes compreenderem a montagem, entendendo sua operação e como os dados eram extraídos e enviados ao computador para posterior análise.

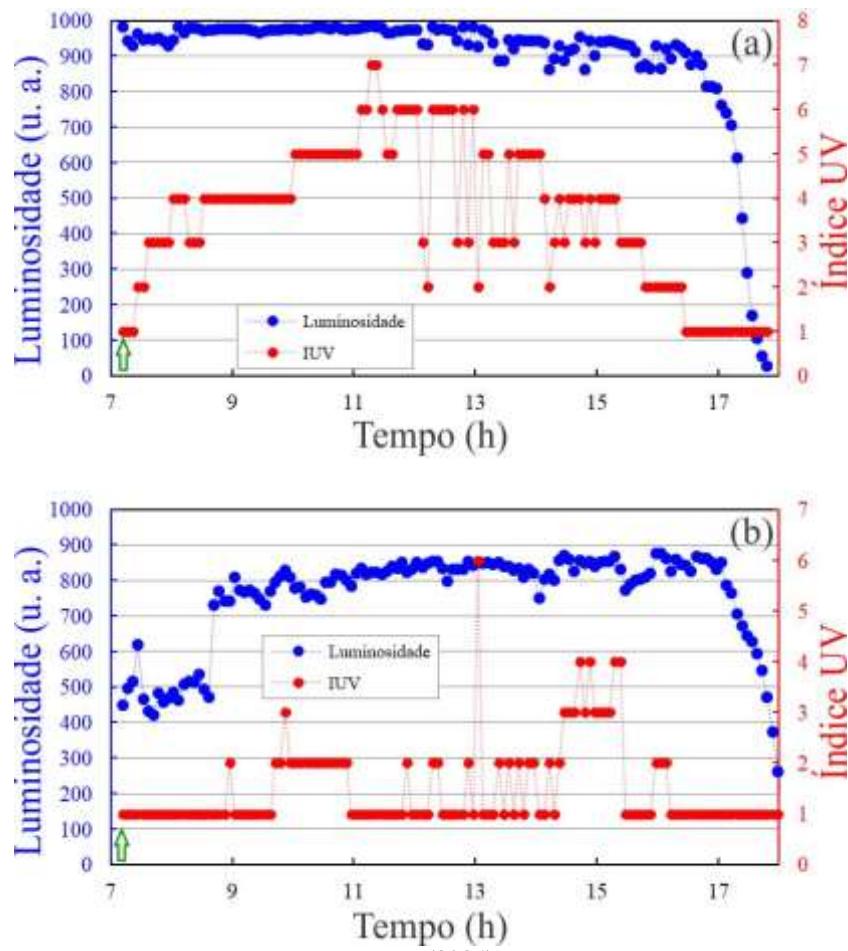
No encontro seguinte o dispositivo foi exposto ao Sol logo pela manhã e o experimento foi iniciado, tendo sido finalizado no início da manhã seguinte. Após isso os dados foram transferidos do cartão de memória para o computador e gráficos semelhantes aos da figura 5 foram construídos e analisados considerando as anotações feitas pelos estudantes acerca das condições do tempo durante a execução do experimento. Dessa forma, somando-se o material pesquisado pelos estudantes na internet, foi possível retomar as questões teóricas previamente discutidas, levando os estudantes a uma compreensão mais significativa sobre os raios UV e suas implicações, principalmente aos seres humanos.

RESULTADOS

Os resultados deste trabalho são apresentados em duas partes. A primeira é relativa à funcionalidade e adequação do experimento propriamente dito, sendo apresentados dois exemplos de resultados experimentais. A segunda parte refere-se aos resultados observados durante a aplicação em sala de aula junto aos estudantes.

A figura 5 apresenta os comportamentos da luminosidade e do índice UV em função do tempo para duas rodadas do experimento executadas em dois dias em meados do outono. Como pode ser observado, em cada uma das rodadas o experimento teve início às 7h20min (indicado por uma seta verde) e foi finalizado às 18h. Os gráficos apresentam apenas 1 a cada 30 pontos experimentais, ou seja, o intervalo de tempo entre dois pontos consecutivos é de 5 minutos.

Figura 5 – Luminosidade e índice UV em função do tempo. As setas verdes indicam o momento do início das medidas: 7h20min. Em (a) para um dia ensolarado e em (b) para um dia nublado com alguns períodos de chuva leve, ambos em meados do outono



Fonte: Autores (2024).

Na situação ilustrada na figura 5a o céu estava encoberto até aproximadamente 8h00min. Após isso o dia tornou-se ensolarado até aproximadamente 13h00min quando algumas nuvens voltaram a surgir, diminuindo discretamente a luminosidade. Em relação ao IUV, entre o início do experimento e 8h00min percebe-se um aumento rápido, indo de 1 para 4, condizente com a situação de tempo se abrindo. Entre aproximadamente 11h00min e 14h00min observa-se predominantemente IUV 6, com um pequeno período de IUV 7. Após isso ocorre um decaimento lento à medida que a tarde avança, mantendo-se em 1 aproximadamente a partir das 16h00min.

Em relação à rodada 2, cujos dados estão apresentados na figura 5b, o início da manhã esteve bastante nublado, ocorrendo leve chuva por volta das 8h20min seguida de uma diminuição nas nuvens a partir das 9h00min, acompanhada de um aumento abrupto da luminosidade. Em relação ao IUV, verifica-se que atingiu o valor 6, mas manteve-se a maior parte do tempo em valores baixos, entre 1 e 2, compatível com a situação de um dia nublado.

Segundo o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), para o local onde ocorreu o experimento, para os dois dias a previsão era de índice UV máximo igual a 6.

Como apontado por Ambach e Rehwald (1983), a dose de radiação UVB responsável pelo desenvolvimento de eritema é maior em torno do meio-dia nos meses de verão e menor ao amanhecer e ao entardecer nos meses de inverno. Desta forma, a aplicação do experimento aqui proposto pode ocorrer em diferentes épocas do ano letivo, cobrindo diferentes estações. Com isso os estudantes terão a oportunidade de, em uma situação contextualizada, comparar os

diferentes valores máximos do IUV e observar, por exemplo, a disponibilidade de luz solar aumentando à medida que se aproxima o equinócio de verão. Nesse sentido, pode-se solicitar aos estudantes que façam um registro de suas observações quanto às condições climáticas dos dias em que o experimento é realizado para, depois, comparar com os dados experimentais. Tal ação pode contribuir para ampliar a percepção dos estudantes em relação ao mundo que os cerca.

Com essa montagem experimental e com os dados dela provenientes é possível avaliar junto aos estudantes os períodos do dia em que o IUV apresenta maior intensidade demandando, por exemplo, o uso de proteção solar como bloqueadores e roupas adequadas. Também é possível demonstrar a relação entre a incidência de raios UV e as condições climáticas do dia, comparando as situações de um dia com céu aberto com aquela de um dia bastante nublado. Embora não seja possível diferenciar as quantidades de raios UVB e UVC, pois o sensor detecta nas duas faixas simultaneamente, os estudantes podem comparar os dados obtidos com informações disponibilizadas por entidades ligadas à saúde ou trabalhos publicados em revistas científicas e que abordam o tema, neste último caso podendo ter contato com publicações de nível acadêmico.

A análise da aplicação em sala de aula ocorreu em um contexto observacional e qualitativo, considerando o engajamento dos estudantes com a atividade bem como a interação com o docente através de perguntas e respostas. Isso permitiu verificar que os estudantes apresentaram um comportamento de maior atenção e envolvimento, externando verbalmente sua satisfação com a atividade experimental, principalmente quando confrontados com a questão dos elementos tecnológicos e computacionais envolvidos.

No final do semestre ocorreu uma atividade de culminância com a escola aberta à comunidade. Nesse momento a montagem experimental e um gráfico com resultados típicos do experimento foram apresentados pelos estudantes participantes do Clube de Ciências. Dessa forma foi possível estimular o desenvolvimento da habilidade dos estudantes em concatenar e comunicar os resultados obtidos ao longo da atividade, demonstrando maior compreensão e domínio sobre as questões relativas à atividade experimental e à exposição das pessoas aos raios UV.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento aqui apresentado se mostrou sensível à luminosidade e ao índice UV, sendo adequado para utilização, em contexto interdisciplinar, junto a turmas do EM para obtenção dos dados referentes a essas variáveis, originando a uma situação contextualizada para o estudo dos efeitos dos raios UV.

Considerando seu enfoque tecnológico ao se valer de sensores e do Arduino associado ao uso de um computador, pode ser usado como projeto tecnológico a ser desenvolvido pelos estudantes desde sua montagem, passando pela programação computacional, chegando à sua aplicação na medição em campo, finalizando com o tratamento e a análise dos dados experimentais. Verifica-se o caráter interdisciplinar da proposta visto que, além de temas de interesse da Biologia, assuntos relacionados à Matemática e à Física estão presentes, pois circuitos elétricos e construção e análise de gráficos permeiam o desenvolvimento da atividade.

Como apontado por McKenzie, Liley e Björn (2009), ações escolares dessa natureza - que permitem a compreensão acerca do IUV ao longo do ano - têm potencial para criar uma cultura solar inteligente permitindo às pessoas, por exemplo, se valer dos raios UV para manter um bom nível de vitamina D sem o risco de eritemas.

Portanto a proposta aqui apresentada e seus resultados dialogam com o que já se conhece sobre o tema, seja em um contexto mais específico, permitindo verificar experimentalmente como a intensidade dos raios UV e da luminosidade se distribui o longo do tempo, ou em um contexto mais amplo, dirigindo os estudantes a uma melhor compreensão acerca das aplicações e implicações desse tipo de radiação.

REFERÊNCIAS

- AMBACH, Walter; REHWALD, Wolfgang. Measurements of the annual variation of the erythema dose of global radiation. **Radiation and environmental biophysics**, v. 21, p. 295-303, 1983.
- ARAÚJO, Maurício dos Santos; FREITAS, Wanderson Lopes dos Santos. A experimentação no ensino de biologia: uma correlação entre teoria e prática para alunos do ensino médio em Floriano/PI. **Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio**, v. 12, p. 22-35, 2019.
- ARI, Aslı Görgülü; MEÇO, Gülsüm. A New Application in Biology Education: Development and Implementation of Arduino-Supported STEM Activities. **Biology**, v. 10, p. 506, 2021.
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.
- CASTRO, Luis Henrique Monteiro; SANTOS, Rosemary. O uso do Arduino e a criação de objetos educacionais em tempos e espaços desarticulados. **Revista de Ciência da Computação**, v. 2, p. 5-12, 2020.
- CORRÊA, Marcelo de Paula. Solar ultraviolet radiation: properties, characteristics and amounts observed in Brazil and South America. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 90, p. 297-313, 2015.
- GALLAGHER, Richard P.; LEE, Tim K.; BADJIK, Chris D. e BORUGIAN Marilyn. Ultraviolet radiation. **Chronic Diseases in Canada**, v. 29, p. 51-68, 2010.
- KIMLIN, Michael G.; OLDS, William J.; MOORE, Michael R. Location and Vitamin D synthesis: Is the hypothesis validated by geophysical data? **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 86, p. 234-239, 2007.
- LOCKRIDGE, Grant; DORGAN, Kelly M. Developing Engineering Skills Through Project-Based Learning: An Arduino-Based Submersible Temperature and Depth Sensor. **Oceanography**, 2024.
- MCKENZIE Richard L.; LILEY J. Ben; BJÖRN, Lars Olof. UV Radiation: Balancing Risks and Benefits. **Photochemistry and Photobiology**, v. 85, p. 88-98, 2009.
- MCKINLAY, A. F.; DIFFEY, B. L. A. Reference Action Spectrum for Ultraviolet Induced Erythema in Human Skin. **CIE Journal**, v. 6, p. 17-22, 1987.

| Submetido em: 15/11/2024

| Aprovado em: 27/07/2025

| Publicado em: 30/09/2025