



Antonio Augusto Soares^{1#} , José Antonio de Almeida Silva¹, Ludmila Vitória Ribeiro Rocumba¹,
Rodrigo Dantas da Silva¹

¹Departamento de Física, Química e Matemática, Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, Sorocaba, SP, Brasil.

Palavras-chave

composição das cores
Arduino
sensor de cores
TDIC

Resumo

Apresentamos uma proposta de experimento para o estudo da composição aditiva das cores junto a estudantes dos ensinos Fundamental e Médio. Um sensor de cor e um LED RGB endereçável são conectados a uma placa Arduino Nano, permitindo identificar a tríade RGB da cor de um objeto. Os estudantes controlam o experimento por meio de um programa de computador desenvolvido em C# que se comunica com o Arduino, conferindo um caráter inovador e interativo ao experimento. No experimento, os estudantes podem detectar a cor de diferentes objetos e observá-las reproduzidas, simultaneamente, pelo LED RGB endereçável e na tela do computador, por meio de uma interface gráfica amigável. Além disso, podem compor, de forma aditiva, uma nova cor a partir de duas cores previamente detectadas, verificando a quantidade das cores primárias nas cores obtidas e, assim, compreender a formação das cores por meio do processo aditivo, processo este similar ao que ocorre com o olho humano.

1. Introdução

As tecnologias digitais da informação e comunicação (TDIC) apresentam grande potencial para abordagens inovadoras no ensino, permitindo o desenvolvimento de materiais didáticos de cunho experimental. Uma ferramenta que abriu caminho para o desenvolvimento de novos materiais para atividades experimentais nas aulas de física, no ensino fundamental (EF) e no Ensino Médio (EM), é o Ardu-

ino, uma plataforma de prototipagem de baixo custo que, associada a sensores, oferece a oportunidade de desenvolver diferentes abordagens experimentais para ensinar física. Por sua vez, a integração de computadores em experimentos educacionais pode melhorar a experiência de aprendizagem dos estudantes, proporcionando novas oportunidades para visualizar e interagir com conceitos científicos complexos. Por exemplo, permite a coleta

Uma ferramenta que abriu caminho para o desenvolvimento de novos materiais para atividades experimentais nas aulas de física, no ensino fundamental e no Ensino Médio é o Arduino

Autor de correspondência. E-mail: aasoares@ufscar.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Copyright © 2025, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

de dados em tempo real [1] e promove a interação e a compreensão acerca de diferentes sensores e atuadores [2]. Além disso, o uso de computadores e do Arduino em experimentos educacionais garante acesso equitativo a recursos de alta qualidade, permitindo que os estudantes se beneficiem de ferramentas e recursos digitais inovadores, preparando-os para o mercado de trabalho moderno ao desenvolver habilidades tecnológicas essenciais. Como apontado pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) [3], grande parte das profissões do futuro de alguma forma envolverá computação e tecnologias digitais.

No que diz respeito à composição de cores, Nieh e Chen [4] desenvolveram um experimento para ensinar mistura de cores de luz usando uma placa Arduino e um LED RGB controlado por um conjunto de três potenciômetros, mostrando a porcentagem de vermelho, verde e azul em três displays de dois dígitos. Esses autores destacam a versatilidade do Arduino em experimentos didáticos. Por sua vez, Carvalho e Hahn [5] apresentaram um experimento utilizando LEDs de cor única, LEDs RGB, potenciômetros e portas digitais PWM¹ do Arduino, permitindo a manipulação dos componentes RGB individuais do LED RGB para produzir diferentes cores. Sem usar uma placa Arduino, Planinsic [6] construiu um misturador de cores aplicando potenciômetros conectados a um conjunto de baterias de 4,5 V para iluminar três LEDs (vermelho, verde e azul) para produzir diferentes cores. Para misturar as cores primárias, foi utilizada uma bola de pingue-pongue como anteparo. Além disso, existem aplicativos para computadores e smartphones que facilitam o estudo da composição de cores, permitindo o aprimoramento da compreensão dos estudantes sobre situações da vida real [5, 7].

A habilidade EF09CI04 da BNCC, referente ao 9º ano do EF, indica explicitamente que os estudantes devem ser envolvidos em atividades experimentais que permitam a verificação de que todas as cores de luz podem ser formadas pela combinação das três cores primárias. Aqui, apresentamos uma proposta de experimento utilizando itens das TDIC que pode ser aplicada para estudar a composição das cores no EF e no EM. Usamos uma placa Arduino Nano, um LED RGB endereçável e um sensor de cor, trabalhando em conjunto com um programa de computador chamado Somando Cores, que desenvolvemos em C#. A abordagem acrescenta aos trabalhos anteriores o uso de um programa que interage diretamente com o Arduino, permitindo aos estudantes controlarem interativamente o experimento, enviando e recebendo informações do e para o computador. O programa controla tanto o sensor de cor quanto o LED RGB endereçável conecta-

dos ao Arduino e exibe uma interface amigável na tela do computador.

2. Cores RGB e a montagem experimental

O olho humano responde à luz em diferentes cores dentro do espectro eletromagnético visível porque possui três estruturas distintas (visão tricromática) sensíveis à luz chamadas cones, que atuam como sensores para as cores primárias [8]. A percepção das cores é baseada na proporção das três cores primárias percebidas por essas estruturas na retina.

Tecnicamente, existem dois processos diferentes para a formação de cores: aditivo e subtrativo. O processo aditivo é aplicado em telas mais antigas de televisão (tubo de raios catódicos), modernas telas digitais de LED, como as encontradas em smartphones e televisores modernos, e em nossos olhos. O processo subtrativo ocorre quando misturamos cores de dois matizes diferentes. O segundo pigmento absorve alguns dos comprimentos de onda que o primeiro pigmento reflete, criando uma nova cor [4]. Alguns experimentos que permitem a introdução do conceito de mistura de cores usando o processo subtrativo podem ser encontrados na Ref. [9].

Como nas aplicações digitais e nos olhos humanos as cores são combinadas, neste artigo focaremos no processo aditivo, usando o sistema de cores RGB, em que a composição das diferentes cores é obtida variando a proporção de vermelho, verde e azul primários. Essa proporção pode ser expressa tanto como uma porcentagem de cada cor primária na cor final quanto examinando diretamente os valores absolutos da tríade (R, G, B). Nessa tríade, cada componente é um número inteiro entre 0 e 255, compreendendo 256 valores possíveis (8 bits), resultando em mais de 16 milhões de cores diferentes. Apesar disso, cabe mencionar que a composição de cores segundo o sistema RGB não inclui todas as sensações de cor percebidas pelo olho humano [10].

Aqui combinamos as cores de acordo com as leis de Grassman da mistura aditiva de cores [11]. Dadas duas cores C_1 e C_2 , com

$$C_1 = R_1(R) + G_1(G) + B_1(B) \quad (1)$$

e

$$C_2 = R_2(R) + G_2(G) + B_2(B) \quad (2)$$

onde R_i , G_i e B_i (com $i = 1, 2$) denotam os valores de cada um dos componentes primários (R), (G) e (B), o resultado da adição entre C_1 e C_2 é dado por

$$C_1 + C_2 = (R_1 + R_2)(R) + (G_1 + G_2)(G) + (B_1 + B_2)(B) \quad (3)$$

com cada componente de $C_1 + C_2$ limitado a 255.

A habilidade EF09CI04 da BNCC, referente ao 9º ano do EF, indica explicitamente que os estudantes devem ser envolvidos em atividades experimentais que permitam a verificação de que todas as cores de luz podem ser formadas pela combinação das três cores primárias

Usamos o sensor de cor TCS34725, que detecta o padrão RGB por meio de uma matriz de fotodiodos. Esse sensor possui um filtro de infravermelho, evitando a interferência desse tipo de radiação e garantindo medidas mais precisas. Também possui um LED branco de alta intensidade, responsável por iluminar o objeto cuja cor se deseja detectar. As cores detectadas e suas misturas são apresentadas em tempo real aos estudantes por meio de um LED RGB endereçável (modelo WS2812B) e na tela do computador, usando o programa Somando Cores.² LEDs RGB endereçáveis não exigem portas PWM, demandando apenas uma porta digital do Arduino para alimentar seus elementos vermelho, verde e azul. Além disso, é possível associar diversos LEDs em série, operando de forma individual, controlando-os a partir de uma única porta digital.

A Fig. 1(a) mostra uma representação esquemática do experimento com as conexões do sensor de cor e do LED RGB endereçável à placa Arduino Nano.³

O terminal VCC do LED RGB deve ser conectado ao pino de 5 V do Arduino e seu terminal de aterramento deve ser conectado ao GND. O terminal rotulado como DI (*data input*, não visível na Fig. 1(a)) é responsável por receber a informação sobre a tríade RGB da cor que se pretende que o LED acenda, sendo conectado ao pino digital 3 do Arduino (conector azul). O sensor de cor, por outro lado, é alimentado com 3,3 V e deve ser conectado entre os pinos 3V3 e GND do Arduino. Seu SCL (*serial clock*) deve ser conectado ao pino A4 (conector laranja) e o SDA (*serial data*), ao pino A5 (conector amarelo). O LED branco do sensor de cor é alimentado pelo conector marcado como “LED”, com o sinal vindo do pino digital 7 do Arduino (conector verde). A Fig. 1(b) mostra uma foto da mon-

tagem experimental (sem mostrar o computador) e dos cartões plásticos coloridos (C) usados como corpos de prova. Seguindo [6], utilizamos um hemisfério de plástico branco opaco (H na Fig. 1(b)) para cobrir o LED RGB, melhorando a visualização das cores e atenuando a intensidade luminosa para conforto visual.

A Fig. 2 mostra a tela inicial do programa Somando Cores, que é usado para controlar o experimento e exibir os resultados das cores detectadas e misturadas na tela do computador. Como esse programa roda em conjunto com o Arduino Nano, executando o código no Apêndice A, ele terá funcionalidade limitada sem o Arduino nesse estado. Após um comando do programa, o Arduino Nano captura a tríade (R, G, B) correspondente à cor do objeto colocado em frente ao sensor, acende o LED RGB com essa cor e envia a tríade para o computador (via cabo USB), que exibirá um cartão virtual da mesma cor na tela.

Para iniciar a comunicação entre o Arduino e o programa, é necessário configurar a porta COM em que o Arduino está conectado através do cabo

USB. Isso é feito selecionando uma opção na área “Conexão” da tela do programa. Feito isso, o usuário pode iniciar o experimento colocando um objeto colorido em frente ao sensor e, em seguida, clicando no botão “Obter cor”. Isso fará com que o Arduino obtenha a tríade (R, G, B) e a cor correspondente será mostrada no cartão virtual (área branca) abaixo do botão “Obter cor” na Fig. 2. Concomitantemente, o LED RGB exibirá a cor detectada. Clicando no botão “Armazenar cor”, a primeira cor detectada será armazenada no cartão virtual “Cor armazenada 1”. O procedimento deve ser repetido para uma segunda cor, que será armazenada no cartão virtual “Cor armazenada 2”.

Abaixo de cada cartão virtual, é apresentado um gráfico de colunas com os valores de cada componente da tríade da cor correspondente, permitindo que os estudantes tenham uma percepção visual da contribuição de vermelho, verde e azul primários nas cores salvas

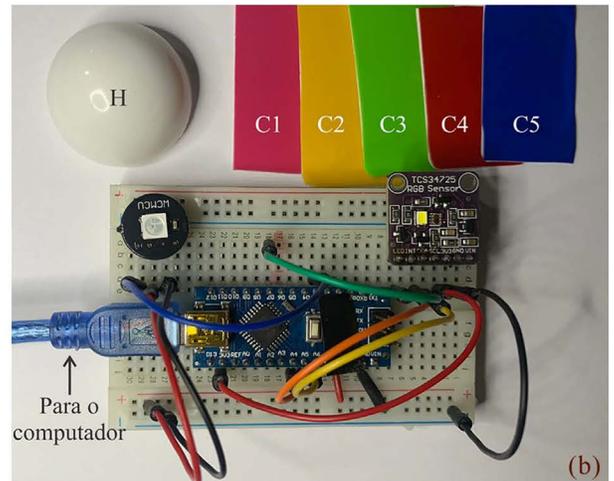
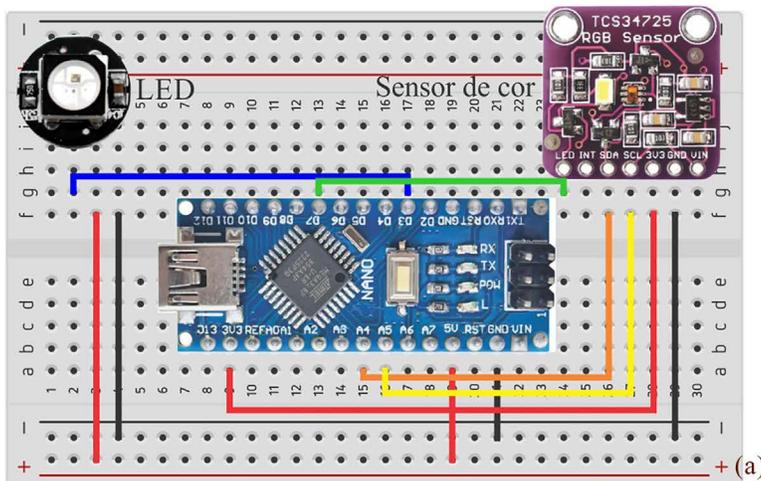


Figura 1 - Em (a) a representação esquemática da montagem experimental e em (b) uma fotografia mostrando o sensor de cores, o LED RGB endereçável, a cobertura (H) e cartões coloridos (C).

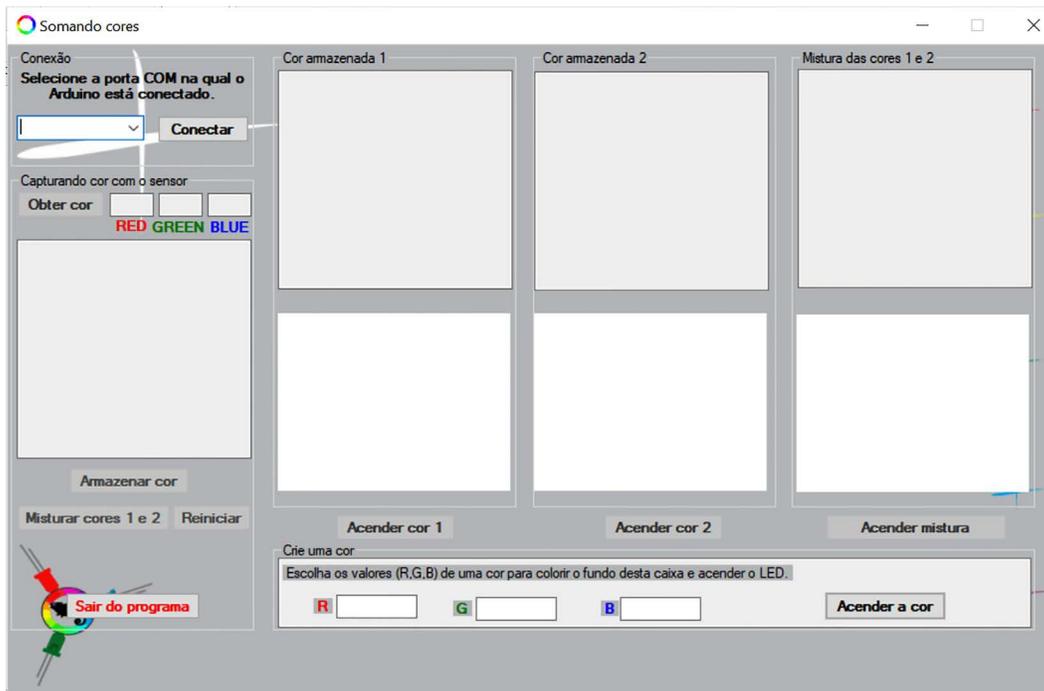


Figura 2 - Tela do programa Somando Cores em sua configuração inicial, pronto para o início do experimento.

O botão “Misturar cores 1 e 2” permite misturar as duas cores previamente salvas e o resultado será exibido no cartão virtual “Mistura das cores 1 e 2” da tela. Ao clicar em um dos botões “Acender cor”, o LED RGB acenderá com a cor correspondente, permitindo que os estudantes comparem a representação da cor na tela com a do LED e a do próprio corpo de prova, podendo

observar as características das diferentes fontes de cor, bem como eventuais limitações do experimento.

3. Resultados

A Fig. 3 mostra uma situação típica do experimento com duas cores diferentes nas áreas “Cor armazenada 1” (um tom de vermelho) e “Cor armazenada 2” (um



Figura 3 - Tela do programa Somando Cores em uma situação típica do experimento, mostrando as cores capturadas pelo sensor e a mistura entre elas.

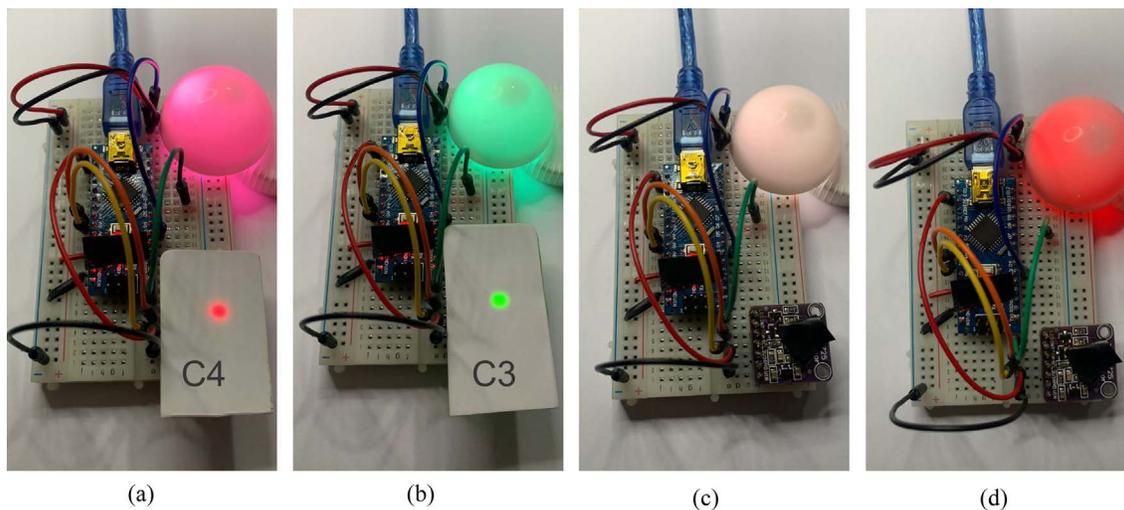


Figura 4 - Fotografias correspondendo à configuração da Fig. 3 com o LED RGB, mostrando em (a) e (b) as duas cores detectadas pelo sensor (cartões C3 e C4 na Fig. 1(b)). Em (c), a mistura dessas duas e em (d) é mostrado o vermelho primário (255, 0, 0).

tom de verde). Ao clicar no botão “Misturar cores 1 e 2”, obtemos a cor resultante na área “Mistura das cores 1 e 2” da Fig. 3. Essa cor, um tom de amarelo, é o resultado da adição das cores 1 e 2. O algoritmo que mistura as cores segue a Eq. (3).

Abaixo de cada cartão virtual, é apresentado um gráfico de colunas com os valores de cada componente da tríade da cor correspondente, permitindo que os estudantes tenham uma percepção visual da contribuição de vermelho, verde e azul primários nas cores salvas, o que pode ajudá-los a entender melhor a composição das cores.

É possível compor uma cor desejada selecionando os valores para a tríade (R, G, B) na área “Crie uma cor” na parte inferior da tela. Como mostrado na Fig. 3, a tríade (255, 0, 0) foi selecionada, e o vermelho primário pode ser visto como a cor de fundo da área correspondente na tela. O professor pode instruir os estu-

dantes a criarem cores diferentes variando os valores da tríade RGB, comparando-as com aquelas detectadas pelo sensor. Assim, os estudantes podem, de forma interativa, entender a influência de cada componente RGB individual no resultado final da cor.

As cores do LED RGB endereçável correspondentes às cores na Fig. 3 são mostradas na Fig. 4.

As Figs. 4(a) e 4(b) também mostram os cartões plásticos coloridos C4 e C3, tons de vermelho e verde, respectivamente, com uma etiqueta branca cobrindo a parte de trás do cartão, ajudando a direcionar mais luz para dentro da matriz de fotodiodos do sensor de cor, o que promove melhores resultados. O ponto luminoso no centro dos cartões é devido à luz residual filtrada do LED branco que passa pelo conjunto cartão-etiqueta. Em (c) e (d), o LED branco do sensor de cor e o LED indicador de funcionamento do Arduino foram cobertos com fita isolante preta para evitar a superexposição

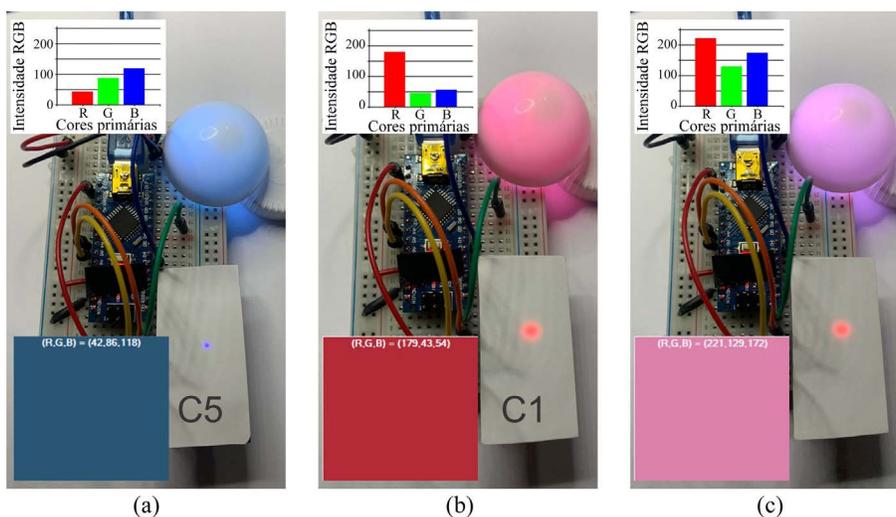


Figura 5 - Resultado para combinação entre os cartões C5 e C1, mostrando os gráficos de colunas das intensidades das cores primárias em cada cor específica.

da foto. Comparando as figuras (a) e (d), os estudantes podem reconhecer as diferenças entre a cor do cartão plástico C4 e o vermelho primário.

A Fig. 5 mostra os resultados para outro par de cartões (C1 e C5 na Fig. 1(b)). Como podemos ver, a combinação de um tom de azul (C5) e um tom mais claro de vermelho (C1) resulta em um tom de violeta.

Os gráficos de colunas nas Figs. 3 e 5 permitem uma boa percepção visual da quantidade de cores primárias vermelha, verde e azul nas composições dos cartões coloridos e na cor resultante da mistura. A cor do LED RGB e as cores da tela do computador mostram tonalidades diferentes devido ao fato de que, em telas modernas, a luz passa por alguns filtros ópticos [12, 13]. No entanto, o programa fornece informações importantes sobre a adição de cores e revela como uma dada cor é composta a partir das cores primárias para um objeto colorido específico.

5. Conclusão

A associação entre o Arduino, o sensor de cores e o LED RGB endereçável controlados pelo programa Somando Cores pode ajudar os professores a elucidar a composição de cores aditivas com um custo relativamente baixo, de forma interativa e contextualizada,

próxima àquilo que ocorre no olho humano. O experimento é simples de ser configurado e executado, permitindo discutir com os estudantes sobre a composição de cores em telas modernas de maneira inovadora, constituindo ferramental que permite desenvolver diferentes habilidades indicadas pela BNCC.

O experimento permite destacar a importância de se compreender a relação entre luz, cor e sua percepção visual, enfatizando a importância da aplicação prática de conceitos científicos no mundo real e permitindo a compreensão de como a teoria das cores pode ter aplicações tangíveis em design, arte e tecnologia, por exemplo.

Os resultados são adequados para promover discussões sobre esse tema com estudantes do EF e do EM, apoiando o início de diálogos sobre diferentes tipos de telas, padrões de cores e percepção visual. Além disso, o uso de um sensor moderno pelos alunos pode abrir caminho para um aprendizado tecnológico mais profundo, incluindo, por exemplo, aqueles que envolvem a internet das coisas (IoT).

Recebido em: 9 de Julho de 2024

Aceito em: 10 de Fevereiro de 2025

O experimento é simples de ser configurado e executado, permitindo discutir com os estudantes sobre a composição de cores em telas modernas de maneira inovadora, constituindo ferramental que permite desenvolver diferentes habilidades indicadas pela BNCC

Notas

¹As portas digitais PWM (do inglês *pulse width modulation*) permitem variar o valor médio de uma forma de onda periódica, simulando valores analógicos.

²Instalador do programa Somando Cores: https://www.labtecfis.ufscar.br/experimentos_arduino, acesso em: 05/02/2025.

³Utilizamos o Arduino Nano por permitir a construção de um dispositivo de dimensões compactas, portanto mais fácil de circular em sala de aula, mas também é possível montar o experimento com o Arduino Uno.

Referências

- [1] A. Pusch, M.S. Ubben, D. Laumann, S.H. Heusler, *Physics Education* **56**, 045001 (2021).
- [2] F.L. Fernández-Soriano, B. López, R. Martínez-España, A.M. Cantabella *Sensors* **19**, 3226 (2019).
- [3] Brasil, *Base Nacional Comum* (MEC, Brasília, 2018).
- [4] H.M. Nieh, H.Y. Chen, *The Physics Teacher* **61**, 133 (2023).
- [5] P.S. Carvalho, M. Hahn, *The Physics Teacher* **54**, 244 (2016).
- [6] G. Planinsic, *The Physics Teacher* **42**, 138 (2004).
- [7] F. Ruiz, M.J. Ruiz, *The Physics Teacher* **53**, 423 (2015).
- [8] D. Parker, *Sensation and Perception* (SAGE Publications, Los Angeles, 2019).
- [9] K. Yurumezoglu, *Physics Education* **55**, 025008 (2020).
- [10] L.F. Santos, C.J. Pereira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **35**, 2314 (2013).
- [11] D. Malacara, *Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications* (SPIE, Bellingham, 2011), 2nd ed.
- [12] H.W. Chen, J.H. Lee, B.Y. Lin, S. Chen, S.T. Wu, *Light: Science & Applications* **7**, 17168 (2018).
- [13] M.D. Hahn, P.S. Carvalho, F.A. Cruz, *Physics Education* **58**, 065020 (2023).

Apêndice A: Código para o Arduino

O código deve ser carregado no Arduino que será conectado ao sensor de cor TCS34725 e ao LED RGB endereçável (WS2812B). Este código deve ser utilizado exatamente como está; caso contrário, a comunicação entre o programa "Somando Cores" e o Arduino não funcionará corretamente.

```
#include <Wire.h> //Biblioteca para comunicação I2C.
#include <Adafruit_NeoPixel.h> //Biblioteca do LED RGB endereçável.
#include <Adafruit_TCS34725.h> //Biblioteca do sensor de cor.
#define PIN 3 //Pino digital para controlar o LED RGB endereçável.
#define NLED 1 //Quantidade de LEDs RGB endereçáveis.
Adafruit_NeoPixel pixels(NLED, PIN); //Configura o número de LEDs e o pino de controle.
Adafruit_TCS34725 cs = Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_120MS, TCS34725_GAIN_4X); //
Variável para armazenamento dos dados obtidos pelo sensor de cor.

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PIN, OUTPUT); //Define o pino 3 como de saída.
  pixels.begin(); //Inicia o LED RGB endereçável.
}

void loop()
{
  String data = Serial.readString(); //Lê uma variável do tipo string enviada pelo programa "Somando
cores".
  data.trim(); //Remove espaços em branco da variável recebida.
  int us = data.length(); //Obtém o comprimento (número de caracteres) da variável.
  int cara = data.substring(0, 1).toInt(); //Identifica o primeiro elemento da variável para
controlar o sensor e o LED.
  if (cara == 8)
  {
    captureColor(); //Executa a função que faz o sensor registrar a tríade (R, G, B).
    pixels.show(); //Acende o LED RGB endereçável com a cor detectada pelo sensor.
  }
  else if (cara == 9)
  {
    pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0, 0, 0)); //Apaga o LED RGB endereçável.
    pixels.show();
  }
  else if (us == 9)
  {
    int red_us = data.substring(0, 3).toInt(); //Divide a string com a cor criada pelo usuário em
três substrings, uma para cada componente RGB.
    int green_us = data.substring(3, 6).toInt();
    int blue_us = data.substring(6, 9).toInt();
    pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(red_us, green_us, blue_us));
    pixels.show(); //Acende o LED RGB com a cor definida pelo usuário.
  }
  delay(2);
}

void captureColor() //Função que executa a detecção da cor pelo sensor. É executada sempre que a
porta serial recebe um "8".
{
  float Red, Green, Blue;
  cs.getRGB(&Red, &Green, &Blue); //Atribui à variável cs a cor detectada.

  int iRed = round(Red);
```

```
int iGreen = round(Green);
int iBlue = round(Blue);

String colorString = String(iRed) + "|" + String(iGreen) + "|" + String(iBlue); //Cria uma string
com os dados RGB que será lida pelo programa "Somando cores".
Serial.println(colorString);

pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(Red, Green, Blue)); //Prepara o LED RGB para ser ligado com a
cor detectada pelo sensor
}
```