

COLORVIZ: SISTEMA EMBARCADO DE PERCEPÇÃO DE CORES E SIMULAÇÃO DE DALTONISMO

Nathally Sophia Morada Garcia¹; Paulo Gabriel Soares Gomes²; Liah Renata Colins da Silva³; Rorras Neves da Silva⁴; Franciane Santos Silva da Hora⁵; Francisco Borges Carreiro⁶

Resumo

O projeto ColorViz desenvolveu um sistema embarcado interativo baseado no Raspberry Pi Pico W, capaz de identificar cores e simular diferentes tipos de daltonismo da dicromacia — protanopia, deuteranopia e tritanopia. O sistema utiliza o sensor de cor TCS34725 e um display OLED conectados via I2C, além de um joystick analógico para navegação entre os modos de simulação. A aplicação de matrizes de transformação fundamentadas em estudos científicos possibilitou simular a experiência visual de pessoas com deficiência na percepção de cores. A arquitetura dual-core do Raspberry Pi Pico W foi essencial para otimizar o desempenho, permitindo a separação entre a interface do usuário e as operações de leitura e processamento. O mapeamento das leituras do sensor a valores de cor de referência contribuiu para uma representação consistente das tonalidades observadas. Além de validar o uso de sistemas embarcados para fins educacionais e de conscientização, o ColorViz reforça a importância do design inclusivo, promovendo maior compreensão sobre as deficiências visuais relacionadas à percepção cromática e estimulando o desenvolvimento de tecnologias acessíveis em diferentes contextos de aprendizado e interação.

Palavras-chave

Tecnologia Assistiva. Simulação de Daltonismo. Raspberry Pi Pico W. Sistemas Embarcados. Percepção de Cores.

Financiamento

¹Estudante do Curso de Engenharia Elétrica Industrial do IFMA São Luís do Campus Monte Castelo; E-mail: nathally.sophia@acad.ifma.edu.br.

²Estudante do Curso de Extensão Embarcatech do IFMA São Luís do Campus Monte Castelo; E-mail: paulogabriel@acad.ifma.edu.br.

³Estudante do Curso de Extensão Embarcatech do IFMA São Luís do Campus Monte Castelo; E-mail: liah.colins@acad.ifma.edu.br.

⁴Estudante do Curso de Extensão Embarcatech do IFMA São Luís do Campus Monte Castelo; E-mail: rorras.neves@acad.ifma.edu.br.

⁵Estudante do Curso de Extensão Embarcatech do IFMA São Luís do Campus Monte Castelo; E-mail: silvasantos@acad.ifma.edu.br.

⁶ Professor do Curso de Engenharia Elétrica do Campus São Luís-Monte Castelo; E-mail: fborges@ifma.edu.br.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Softex através do programa Embarcatech.

Introdução

A percepção de cores é um aspecto essencial da experiência humana, influenciando desde a interpretação de informações visuais até a apreciação estética do ambiente. Entretanto, uma parcela significativa da população apresenta algum tipo de deficiência na visão de cores, condição conhecida como daltonismo. Essa alteração afeta a percepção do espectro cromático e pode dificultar tarefas cotidianas, como escolher roupas, interpretar gráficos ou identificar sinais visuais.

Na prática, esses desafios manifestam-se em diversas áreas, desde atividades em laboratórios, que dependem de indicadores colorimétricos, até ao uso de jogos digitais, cujas mecânicas frequentemente se baseiam em cores. Compreender como indivíduos daltônicos enxergam o mundo é um desafio que a tecnologia pode ajudar a superar.

Nesse contexto, o projeto ColorViz foi concebido como uma solução embarcada e portátil, utilizando o microcontrolador Raspberry Pi Pico W. O sistema integra o sensor de cor TCS34725, responsável por capturar as tonalidades de objetos reais, e uma tela OLED, onde os resultados são exibidos em tempo real. Para interação do usuário, foi adicionado um joystick analógico, que possibilita a navegação entre menus e a seleção de diferentes modos de simulação. A principal funcionalidade do dispositivo consiste em identificar cores e simular, de forma aproximada, como essas mesmas cores seriam vistas por pessoas com os três tipos mais comuns de dicromacia: Protanopia, Deuteranopia e Tritanopia.

Além da interface física, o projeto incorpora um diferencial importante: a implementação de um servidor web via protocolo HTTP, hospedado diretamente no Raspberry Pi Pico W. Essa funcionalidade transforma o microcontrolador em um ponto de acesso Wi-Fi, permitindo que qualquer dispositivo conectado à rede visualize a simulação de daltonismo em uma página web interativa. Assim, o ColorViz ultrapassa a barreira do hardware dedicado e amplia sua acessibilidade, possibilitando que múltiplos usuários explorem simultaneamente as transformações visuais a partir de navegadores comuns.

O sistema combina, portanto, duas dimensões complementares: a experiência direta no dispositivo físico, com leitura e exibição em tempo real, e o acesso remoto via

web, que amplia as possibilidades de uso educacional, demonstrativo e inclusivo. Essa abordagem torna o projeto não apenas uma ferramenta assistiva para daltônicos, mas também um recurso didático.

A utilização de simulações digitais, como a proposta pelo ColorViz, surge como uma ferramenta valiosa para aumentar a consciencialização sobre o tema e auxiliar desenvolvedores a identificar ameaças à acessibilidade cromática desde os estágios iniciais de um projeto.

Metodologia

O desenvolvimento do sistema ColorViz foi estruturado em etapas que envolveram tanto a integração de hardware quanto a implementação de uma arquitetura de software otimizada para um microcontrolador de recursos limitados. O objetivo principal foi construir um protótipo portátil, confiável e capaz de realizar a leitura de cores e a simulação de daltonismo em tempo real, tanto no display local quanto em uma interface web acessível por outros dispositivos. A criação de tal ferramenta leva em conta a experiência do usuário, que em sistemas de aprimoramento de cor é frequentemente avaliada por dimensões como contraste e naturalidade da cor, para garantir que as funcionalidades sejam de fato benéficas.

O hardware do sistema foi composto por quatro elementos principais: o Raspberry Pi Pico W, o sensor de cor TCS34725, o display OLED SSD1306 e um módulo joystick analógico. Adicionalmente, foi incluído um botão externo para funções complementares. A montagem foi realizada sobre a plataforma BitDogLab, que facilitou a prototipagem por já integrar parte dos componentes e permitir conexões organizadas.

- Microcontrolador Raspberry Pi Pico W: escolhido por sua combinação de baixo custo, conectividade Wi-Fi integrada e arquitetura dual-core ARM Cortex-M0+. Ele foi responsável por orquestrar todas as operações, desde a aquisição de dados até a comunicação com o usuário.
- Sensor de cor TCS34725: conectado ao barramento I2C0, foi responsável por capturar os valores de intensidade luminosa nos canais vermelho, verde, azul e claro. Seu filtro interno de bloqueio de infravermelho garantiu maior precisão nas medições.

- Display OLED SSD1306: conectado ao barramento I2C1, exibiu as informações de forma clara e em tempo real. A separação em barramentos distintos para sensor e display foi adotada para evitar conflitos de comunicação e reduzir latências.
- Joystick analógico: utilizado como dispositivo de entrada, permitiu ao usuário navegar pelos menus do sistema. O eixo vertical (VRY) foi conectado a uma porta ADC (GPIO 26), enquanto o botão central (SW) foi ligado a uma porta GPIO (GPIO 22).
- Botão externo adicional: conectado ao GPIO 5, serviu como botão de retorno ou função auxiliar, utilizando rotina de debounce para evitar leituras incorretas.

Na arquitetura de software o firmware do ColorViz foi projetado para aproveitar a arquitetura dual-core do RP2040. Essa divisão permitiu separar as tarefas críticas de interação do usuário das rotinas mais intensivas, como a configuração de rede e o processamento das simulações. Essa divisão multicore foi essencial para evitar gargalos, garantindo que a interface permanecesse responsiva mesmo durante o processamento das requisições web.

- Núcleo 0 – Interface do Usuário (UI): responsável por ler continuamente o joystick e os botões, interpretar os comandos e atualizar o display OLED. Essa separação garantiu uma navegação fluida, sem atrasos na exibição das informações.
- Núcleo 1 – Conectividade e Processamento Web: encarregado da configuração do ponto de acesso Wi-Fi (Access Point), da manutenção da rede e da gestão da interface web. Nesse núcleo também foi implementada a comunicação via HTTP, que permitiu disponibilizar uma página acessível a partir de navegadores comuns.

O Processamento e Simulação de Daltonismo acontecia da seguinte forma: a leitura inicial do sensor fornecia valores RGB brutos, que eram normalizados e calibrados para reduzir variações causadas pela iluminação ambiente. Em seguida, esses valores eram comparados a uma base de dados de cores perceptivas, criada para aproximar os resultados da experiência humana. Essa base garantiu maior realismo, já que a visão de cor humana não depende apenas da intensidade luminosa medida pelo sensor. Após a identificação da cor, os valores calibrados eram submetidos ao algoritmo de simulação baseado no modelo de Brettel, Viénot e Mollon (1997). O processo envolveu três etapas:

- Conversão dos valores do espaço RGB para o espaço LMS, que representa a resposta dos três tipos de cones da retina humana.
- Aplicação de transformações matriciais específicas para cada tipo de dicromacia: Protanopia: ausência dos cones sensíveis ao vermelho (L). Deuteranopia: ausência dos cones sensíveis ao verde (M). Tritanopia: ausência dos cones sensíveis ao azul (S).
- Reconversão dos valores para o espaço RGB, resultando em uma simulação próxima da percepção de um indivíduo com deficiência visual em cores.

Esses resultados eram então exibidos no display OLED e enviados para a página web, permitindo a visualização em dispositivos conectados ao ponto de acesso.

Durante a implementação, alguns obstáculos foram enfrentados: Discrepância entre leitura do sensor e percepção humana: solucionada com a criação da base de dados calibrada. Calibração e normalização: necessárias para tornar as leituras consistentes sob diferentes condições de iluminação. Gestão multicore: exigiu estratégias de sincronização para que as rotinas de rede não interferissem na interface do usuário. Limitações de hardware: o Pico W possui memória restrita, o que demandou código otimizado para lidar com a interface web sem comprometer a fluidez da UI. Obstáculos esses que foram superados.

Assim sendo, o fluxo de funcionamento do sistema se inicia com a inicialização dos periféricos e configuração do ponto de acesso Wi-Fi. Em seguida, os dois núcleos assumem suas funções: o Núcleo 0 gerencia a interação com o usuário por meio do joystick e do display, enquanto o Núcleo 1 mantém o ponto de acesso e a interface web ativa. Paralelamente, os dados de cor são continuamente capturados pelo sensor, processados e exibidos tanto na tela OLED quanto na página web. O usuário pode alternar, a qualquer momento, entre os modos de simulação de daltonismo, experimentando de forma interativa como diferentes deficiências alteram a percepção cromática.

Resultados e Discussão

O desenvolvimento do projeto culminou num protótipo funcional capaz de realizar a leitura, identificação e simulação de cores em tempo real. Os resultados demonstram a viabilidade da metodologia empregada.

A capacidade do sistema em perceber e identificar cores foi validada com sucesso. A implementação de rotinas de calibração e a estratégia de associar a leitura do sensor a um valor RGB "ideal" foram cruciais para mitigar as discrepâncias entre a detecção do hardware e a percepção humana, um dos principais desafios do projeto. A Figura 1 ilustra o dispositivo em funcionamento, realizando a leitura de uma cor.

Figura 1 – Leitura do sensor de cor



Fonte: Autoria própria, 2025.

Os algoritmos de simulação de daltonismo (Protanopia, Deuteranopia e Tritanopia) foram aplicados com sucesso. A interface web, gerida pelo Núcleo 1 do microcontrolador, demonstrou ser uma forma eficaz de visualizar os resultados da simulação. A Figura 2 apresenta a interface web exibindo a cor roxa como seria percebida por um indivíduo com Tritanopia.

Figura 2 – Interface web de simulação



Fonte: Autoria própria, 2025.

A arquitetura multi-core garantiu uma interface de usuário responsiva e intuitiva no display OLED, permitindo uma navegação fluida entre os modos de simulação, enquanto as operações de rede ocorriam em paralelo sem comprometer o desempenho. O sistema demonstrou ser uma ferramenta robusta, alcançando os seus objetivos ao combinar um hardware eficiente com uma arquitetura de software inteligente.

Conclusão

O projeto ColorViz atingiu com êxito os seus objetivos, resultando num sistema embarcado funcional que identifica cores e simula a percepção visual de indivíduos com

daltonismo. A arquitetura dual-core do Raspberry Pi Pico W foi fundamental para otimizar o desempenho, separando a interface do usuário das operações de rede. A estratégia de mapear as leituras do sensor a valores de cor "ideais" garantiu que a simulação fosse aplicada sobre uma base cromática fiel à percepção humana, superando um dos principais desafios técnicos.

O ColorViz não apenas valida a aplicação de sistemas embarcados para esta finalidade, mas também se afirma como uma ferramenta educacional e de conscientização, representando um passo importante na criação de tecnologias assistivas. Este trabalho alinha-se à crescente necessidade de introduzir o conceito de design universal em diversas áreas, incluindo campos altamente especializados como a endoscopia, onde a correta visualização de cores é crucial para a segurança e eficácia dos procedimentos (OHNO et al., 2025). Assim, o projeto reforça a importância de desenvolver soluções que garantam a acessibilidade para todos os profissionais e usuários.

Agradecimentos

Agradecemos aos professores que nos guiam e nos guiaram neste caminho do conhecimento.

Referências

BRETTEL, H., VIÉNOT, F., & MOLLON, J. D. (1997). Computerized simulation of color appearance for dichromats. *Journal of the Optical Society of America A*, v. 14, n. 10, p. 2647-2655.

VIÉNOT, F., BRETTEL, H., & MOLLON, J. D. (1999). Digital video colourmaps for checking the legibility of displays by dichromats. *Color Research & Application*, v. 24, n. 4, p. 243-252.

ROBERTS, N. J.; HYNES, T.; STACEY, D.; MACDONALD, J. L. How Effective are Indicators for Individuals with Color Vision Deficiency?. *Journal of Chemical Education*, v. 100, p. 4168-4173, 2023.

ZHANG, Y.; HU, Y.; TAN, J.; MA, R.; SI, F.; YANG, Y. Do color enhancement algorithms improve the experience of color-deficient people? An empirical study based on smartphones. *Frontiers in Neuroscience*, v. 18, 2024.

CARNEIRO, M. P. G. Simulações de daltonismo no desenvolvimento de jogos cromaticamente acessíveis para dispositivos móveis. 2024. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

OHNO, A. et al. The influence of color vision deficiency on vessel visibility during colorectal endoscopic submucosal dissection and the potential advantage of red dichromatic imaging to achieve color vision barrier-free. **DEN Open**, v. 5, p. e410, 2025.