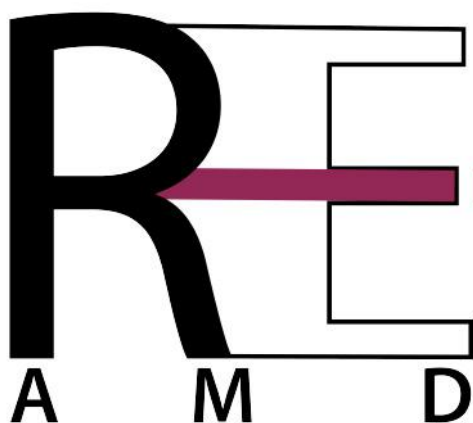




Sistemas adaptativos para daltonismo: Proposta de um modelo de ajuste de cores e contrastes

Adaptive systems for color blindness: A proposed model for color and contrast adjustment

Systèmes adaptatifs pour le saltonisme: Proposition d'un modèle d'ajustement des couleurs et des contraste

DOI: 10.5965/259446301012026e8017

Bruna Cordeiro Machado

Universidade Federal de Santa Catarina

Lattes: 1044125337460332. Orcid: 0009-0001-9050-8806.

E-mail: bcmachado@id.uff.br

Claudelino Martins Dias Junior

Universidade Federal de Santa Catarina

Lattes: 1278815929410146. Orcid: 0000-0002-8071-6396.

E-mail: claudelino@gmail.com



Licenciante: Revista de Ensino
em Artes, Moda e Design,
Florianópolis, Brasil.

Este trabalho está licenciado sob
uma licença Creative Commons
Attribution 4.0 International License.

Publicado pela Universidade do
Estado de Santa Catarina

Copyright: © 2025 pelos autores.

Submetido em: 06/10/2025

Aprovado em: 04/03/2026

Publicado em: 24/03/2026

Resumo

Com estimativas de que o daltonismo afeta cerca de 8% dos homens e 0,5% das mulheres globalmente, a garantia da acessibilidade visual em interfaces digitais emerge como um desafio crucial, impactando significativamente a interação de milhões de pessoas. Essa condição compromete a usabilidade e a inclusão digital, sublinhando a necessidade de soluções mais adaptativas e intuitivas. Este artigo aborda essa lacuna, avaliando o potencial de sistemas adaptativos de cores e contrastes para aprimorar a acessibilidade digital para daltônicos, otimizando a interação humana com sistemas digitais sob a perspectiva da ergonomia. Para tanto, empregou-se uma metodologia qualitativa baseada em revisão de literatura e análise comparativa de soluções tecnológicas, incluindo instrumentos de simulação do daltonismo e a formulação teórica de um modelo adaptativo impulsionado por Inteligência Artificial (IA). Os resultados apontaram limitações nas ferramentas existentes quanto à personalização, adaptação em tempo real e identificação precisa do tipo de daltonismo. Em resposta, propõe-se um modelo teórico composto por um sistema de identificação do tipo e grau de daltonismo, algoritmos de ajuste dinâmico de cores e contrastes, e uma interface de usuário personalizável, visando superar essas restrições e oferecer uma solução mais completa e ajustável às necessidades individuais. A principal contribuição do artigo reside na proposição deste modelo adaptativo, que ao integrar precisão na identificação e personalização baseada em IA, otimiza a experiência visual e promove a inclusão digital. Este trabalho abre novas perspectivas para o desenvolvimento de interfaces mais equitativas, servindo como um referencial para o design acessível.

Palavras-chave: Daltonismo. Design Inclusivo. Inteligência Artificial. Acessibilidade. Cores.

Abstract

With estimates that color blindness affects approximately 8% of men and 0.5% of women globally, ensuring visual accessibility in digital interfaces emerges as a crucial challenge, significantly impacting the interaction of millions of people. This condition compromises usability and digital inclusion, highlighting the need for more adaptive and intuitive solutions. This article addresses this gap, evaluating the potential of adaptive color and contrast systems to enhance digital accessibility for colorblind individuals, optimizing human-digital system interaction from an ergonomic perspective. To this end, a qualitative methodology was employed, based on a literature review and comparative analysis of technological solutions, including color blindness simulation tools

and the theoretical formulation of an adaptive model driven by Artificial Intelligence (AI). The results indicated limitations in existing tools regarding personalization, real-time adaptation, and precise identification of color blindness type. In response, a theoretical model is proposed, comprising a system for identifying the type and degree of color blindness, dynamic color and contrast adjustment algorithms, and a customizable user interface, aiming to overcome these restrictions and offer a more complete and tailored solution to individual needs. The main contribution of the article lies in the proposition of this adaptive model, which, by integrating precise identification and AI-based personalization, optimizes visual experience and promotes digital inclusion. This work opens new perspectives for the development of more equitable interfaces, serving as a benchmark for accessible design.

Keywords: Color Blindness. Inclusive Design. Artificial Intelligence. Accessibility. Colors.

Resumé

Avec des estimations selon lesquelles le daltonisme affecte environ 8% des hommes et 0,5% des femmes à l'échelle mondiale, la garantie de l'accessibilité visuelle dans les interfaces numériques apparaît comme un défi crucial, impactant significativement l'interaction de millions de personnes. Cette condition compromet l'utilisabilité et l'inclusion numérique, soulignant le besoin de solutions plus adaptatives et intuitives. Cet article aborde cette lacune, évaluant le potentiel des systèmes adaptatifs de couleurs et de contrastes pour améliorer l'accessibilité numérique pour les personnes daltoniennes, optimisant l'interaction homme-système numérique dans une perspective ergonomique. À cette fin, une méthodologie qualitative a été employée, basée sur une revue de la littérature et une analyse comparative des solutions technologiques, y compris des outils de simulation du daltonisme et la formulation théorique d'un modèle adaptatif piloté par l'Intelligence Artificielle (IA). Les résultats ont révélé des limitations dans les outils existants concernant la personnalisation, l'adaptation en temps réel et l'identification précise du type de daltonisme. En réponse, un modèle théorique est proposé, composé d'un système d'identification du type et du degré de daltonisme, d'algorithmes d'ajustement dynamique des couleurs et des contrastes, et d'une interface utilisateur personnalisable, visant à surmonter ces restrictions et à offrir une solution plus complète et adaptée aux besoins individuels. La principale contribution de l'article réside dans la proposition de ce modèle adaptatif qui, en intégrant une identification précise et une personnalisation basée sur l'IA, optimise l'expérience visuelle et promeut l'inclusion numérique. Ce travail ouvre de nouvelles perspectives pour le développement d'interfaces plus équitables, servant de référence pour le design accessible.

Mots clé: *Daltonisme. Conception Inclusive. Intelligence Artificielle. Accessibilité. Couleurs.*

1 Introdução

Garantir a inclusão de todos os indivíduos no ambiente digital, independente de suas capacidades sensoriais, depende fundamentalmente da acessibilidade visual. Entre as diversas condições que afetam a percepção visual, o daltonismo, ou discromatopsia, se destaca como um distúrbio significativo que interfere na percepção das cores. Estimativas indicam que essa condição afeta cerca de 8% dos homens e 0,5% das mulheres em escala global (Color Blind Awareness, 2024), totalizando aproximadamente 350 milhões de pessoas, com mais de 8 milhões vivendo no Brasil (Bessler, 2023).

A dificuldade na visão de cores se manifesta como uma alteração na percepção cromática, dificultando a distinção de nuances e, por conseguinte, a interpretação de informações que utilizam cores em interfaces digitais. Essa condição é classificada em diferentes tipos, como protanopia, deuteranopia e tritanopia, com suas respectivas subcategorias de menor severidade. A Tabela 1 detalha essas classificações, ilustrando os cones afetados, as alterações perceptivas e as cores mais frequentemente confundidas.

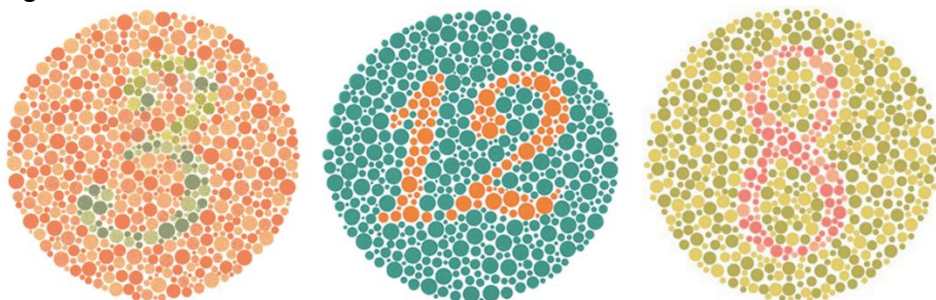
Tabela 1: Tipos de Daltonismo

Tipos	Cone afetado	Alteração	Cores mais confundidas	Tipo de Daltonismo	Severidade	Frequência
Protanopia	L (vermelho)	Cone ausente	Vermelho X Verde escuro / Marrom	Vermelho X Verde	Alta	Comum em homens
Protanopia	L (vermelho)	Cone alterado	Vermelho escurecido X Verde	Vermelho X Verde	Moderada	Comum
Deuteranopia	M (verde)	Cone ausente	Verde X Vermelho claro	Vermelho X Verde	Alta	Comum em homens
Deuteranomalia	M (verde)	Cone alterado	Verde X Vermelho (confusão leve)	Vermelho X Verde	Leve a moderada	Mais comum (até 5% dos homens)
Tritanopia	S (azul)	Cone ausente	Azul X Amarelo	Azul X Amarelo	Alta	Muito rara

Fonte: Autores, 2025.

O diagnóstico tradicional, frequentemente realizado por meio de testes como o de Ishihara (Figura 01), embora eficaz para identificar a presença do daltonismo, não oferece a granularidade necessária para uma adaptação fina e personalizada de interfaces digitais, que exige a compreensão do tipo e grau específico da deficiência.

Figura 1: Teste de Ishihara



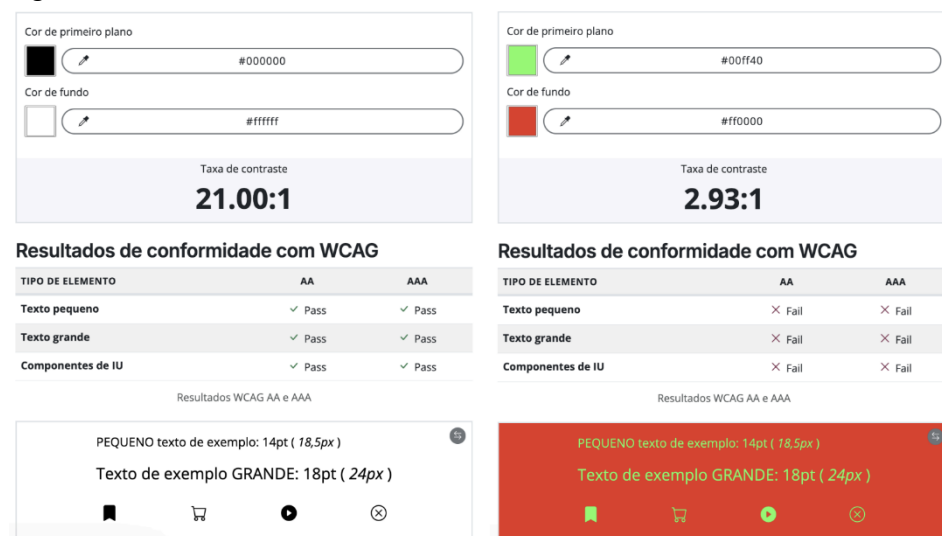
Fonte: Autores, 2025.

A Lei Brasileira de Inclusão (LBI), Lei nº 13.146/2015, define acessibilidade como a garantia de acesso autônomo e seguro a informações e serviços para todos, independentemente de suas habilidades (Brasil, 2015). Contudo, a realidade das interfaces digitais muitas vezes falha em atender adequadamente às demandas de pessoas com daltonismo (gráficos complexos, botões com tonalidades semelhantes e informações importantes transmitidas exclusivamente por meio da coloração podem se tornar ilegíveis), gerando frustração e exclusão digital (Maty, Santana e Hage, 2020). Essas barreiras dificultam o acesso à informação, educação, participação cívica e oportunidades de emprego.

Nesse contexto, a formação de designers e desenvolvedores com uma sólida compreensão dos princípios de acessibilidade e design inclusivo torna-se imperativa, e a experiência de projetos práticos é fundamental para essa capacitação. Desse modo, o Design Inclusivo, que visa criar soluções que atendam à diversidade de necessidades e preferências dos usuários (Clarkson et al., 2015), assume um papel essencial. A Ergonomia desempenha uma função fundamental, otimizando a interação humana com sistemas digitais. Para daltônicos, a aplicação de princípios ergonômicos no design de interfaces vai além da simples correção de cores; envolve garantir que a informação seja transmitida de forma clara, confortável e intuitiva, reduzindo a carga cognitiva e a fadiga visual. A Web

Content Accessibility Guidelines (WCAG) fornecem diretrizes cruciais para o desenvolvimento de conteúdos *web* acessíveis, incluindo recomendações específicas para o uso de cores e contraste (Figura 2), que servem como base para a avaliação e o aprimoramento de soluções.

Figura 2: Verificador de contraste de cores WCAG



Fonte: Sistema WCAG, 2025.

Essas inovações superam as limitações das ferramentas tradicionais de recoloração, que muitas vezes não consideram as complexidades da percepção de cores e necessidades individuais. Contudo, é importante reconhecer que tais tecnologias não são isentas de limitações. A precisão dos ajustes pode variar, a percepção de cores é subjetiva, e a alteração da aparência original das interfaces, bem como a consistência visual em diferentes dispositivos são desafios. A validação da eficácia dessas tecnologias requer testes em simuladores ou com usuários daltônicos, garantindo que atendam às suas necessidades específicas. No cenário brasileiro, o Collie, desenvolvido pelo Centro Tecnológico de Acessibilidade (CTA) do Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) (INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, [s.d.]), é um exemplo notável de ferramenta para essa finalidade. Esse simulador possibilita a visualização de interfaces sob a perspectiva dos três principais tipos de daltonismo, auxiliando na validação de layouts e designs propostos.

Diante desse cenário, este artigo propõe e conceitua um modelo adaptativo de cores e contrastes para interfaces digitais, que utiliza Inteligência Artificial (IA) para a identificação precisa do tipo e grau de daltonismo do usuário e para o ajuste dinâmico de cores e contrastes. O objetivo deste modelo é otimizar a acessibilidade e a experiência do usuário para pessoas com daltonismo, superando as limitações das soluções atuais em termos de personalização e adaptação. Este trabalho reflete a aplicação prática de conceitos de design inclusivo e ergonomia, servindo como um exemplo de como a academia pode contribuir para a resolução de problemas sociais e para a formação de profissionais mais conscientes e capacitados

2 Material e Métodos

A presente pesquisa emprega uma metodologia qualitativa, que, no contexto de sua elaboração como projeto de disciplina, serviu como um roteiro estruturado para a investigação e o desenvolvimento de soluções. Baseada em uma revisão da literatura e na análise comparativa de soluções tecnológicas, esta abordagem teve como objetivo principal não apenas identificar as limitações das ferramentas existentes. Mas também, aprofundar o conhecimento sobre o tema e propor um modelo conceitual para interfaces digitais mais inclusivas e personalizáveis para daltônicos. Consolidando o aprendizado prático e teórico dos princípios de design e acessibilidade.

A revisão sistemática da literatura foi conduzida no primeiro semestre de 2025, utilizando diversas bases de dados acadêmicas, como SciELO, Portal de Periódicos CAPES, ACM Digital Library, IEEE Xplore, SpringerLink e Google Scholar, abrangendo publicações do período de 2018 a 2024. As palavras-chave utilizadas na busca incluíram termos como "daltonismo", "acessibilidade digital", "design inclusivo", "sistemas adaptativos", "inteligência artificial", "correção de cores", "WCAG", "percepção de cores" e "interface de usuário". Os critérios de inclusão priorizaram artigos revisados por pares que tratassem de soluções tecnológicas para daltonismo, princípios de design acessível e aplicações de IA no campo da acessibilidade visual. Foram excluídos artigos que não se relacionavam diretamente com a tecnologia ou que se concentravam exclusivamente no

diagnóstico clínico. Esta etapa foi fundamental para estabelecer o cenário atual da acessibilidade digital para daltônicos, identificar os avanços tecnológicos e, principalmente, detectar as lacunas de pesquisa que justificam a proposta do modelo adaptativo. Funcionando como um exercício de pesquisa bibliográfica aprofundado e crítico, essencial para a formação em design e pesquisa.

2.1 Análise de Ferramentas

A segunda etapa consistiu na avaliação de ferramentas e tecnologias que oferecem modos de visualização adaptados para daltonismo, um exercício prático para compreender as abordagens existentes e suas deficiências, aprofundando o entendimento acerca das soluções de mercado. A seleção das ferramentas – *Color Oracle*, *Sim Daltonism*, *Daltonize*, *Funkify* e *See* – considerou sua relevância no mercado, aceitação pelo público, variedade de recursos e diferentes abordagens de uso (simuladores para desktop, extensões para navegadores e aplicativos móveis).

A avaliação foi conduzida com base nos seguintes critérios, que foram explorados no contexto da disciplina para a obtenção de uma análise robusta e fundamentada:

Eficácia: Medida por meio de uma investigação heurística realizada pelos autores, fundamentada em sua experiência em design de interação e acessibilidade. Os aspectos avaliados foram: A precisão das simulações de daltonismo em relação aos padrões reconhecidos; A capacidade de ajustar as cores para melhorar a legibilidade, mantendo a hierarquia visual e minimizando distorções estéticas; A criação de alternativas visuais claras para informações representadas por cores (gráficos, ícones).

Usabilidade: Mensurada por meio da aplicação dos princípios de usabilidade de Nielsen (conexão entre o sistema e o mundo real, prevenção de erros, flexibilidade e eficiência de uso, estética e design minimalista). Especificamente, foram analisadas a facilidade de instalação e configuração, a objetividade das instruções de uso, a intuitividade da interface e a abrangência das opções de personalização.

Conformidade com WCAG: Verificada através da análise da forma como as ferramentas abordam as diretrizes de acessibilidade, com foco nos critérios

relacionados ao uso de cores e contraste (ex: Critério 1.4.3 - Contraste Mínimo) e alternativas textuais para informações transmitidas por cores (Critério 1.1.1).

É importante ressaltar que a análise aqui apresentada, fundamentada principalmente em avaliações heurísticas, possui um caráter exploratório e conceitual nesta etapa do estudo. Embora sistemática, esta investigação não envolveu testes com usuários reais, o que representa uma limitação natural para uma validação empírica completa em um contexto aplicado. Contudo, esta abordagem foi essencial para identificar lacunas existentes e propor um modelo teórico inovador, servindo como base para futuras etapas de pesquisa e validação empírica, que serão cruciais para o aprofundamento do tema.

3 Resultados

Os resultados deste estudo são apresentados de forma integrada, refletindo as descobertas da revisão sistemática da literatura e da subsequente análise das ferramentas existentes.

A revisão sistemática da literatura permitiu traçar um panorama abrangente das soluções tecnológicas e abordagens teóricas relacionadas ao daltonismo, design acessível e aplicações de Inteligência Artificial para acessibilidade visual. A partir dessa análise aprofundada, identificou-se que, embora o campo seja ativo, a maioria das soluções existentes carece de personalização granular, adaptação em tempo real e de mecanismos inteligentes para a identificação precisa do tipo e grau de daltonismo do usuário. Essa lacuna fundamenta a necessidade de um modelo mais integrado e adaptativo.

A análise comparativa das ferramentas existentes (Color Oracle, Sim Daltonism, Daltonize, Funkify e See), realizada com base nos critérios de eficácia, usabilidade e conformidade com WCAG, corroborou e detalhou essas limitações gerais. Conforme ilustrado na Tabela 2, que sintetiza as características e o desempenho dessas soluções, apesar de algumas ferramentas se destacarem pela simplicidade ou abrangência de recursos, a maioria apresenta limitações significativas em aspectos cruciais para uma acessibilidade verdadeiramente adaptativa e individualizada. Por exemplo,

a Eficácia e a Usabilidade exibem variações notáveis, com algumas ferramentas (como Sim Daltonism) destacando-se pela simplicidade, mas com funcionalidades restritas, enquanto outras (Funkify e See) oferecem um conjunto mais amplo de recursos, porém com maior complexidade. A Adesão à WCAG também se mostra inconsistente, e poucas ferramentas fornecem suporte abrangente para todos os Tipos de Daltonismo ou um elevado Nível de Personalização.

Tabela 2: Avaliação de Ferramentas

	Color Oracle	Sim Daltonism	Daltonize	Funkify	See
Eficácia	Alta	Média	Baixa	Alta	Média
Usabilidade	Média	Alta	Baixa	Alta	Média
Conformidade com WCAG	Média	Baixa	Baixa	Alta	Média
Tipos Suportados	Protanopia, Deuteranopia e Tritanopia	Protanopia e Deuteranopia	Protanopia e Deuteranopia	Todos	Protanopia e Deuteranopia
Sistemas	Windows, macOS e Linux	IOS e macOS	Chrome	Chrome	Android e IOS
Nível de Personalização	N/A	N/A	Fácil	Fácil	Fácil
Custo	Gratuito	Gratuito	Gratuito	Pago	Gratuito
Licença	Média	Baixa	Baixa	Alta	Média
Última Atualização	2016	2023	2020	2024	2022
Prós	Simula diferentes tipos de daltonismo com precisão	Fácil de instalar e usar	Interface simples	Faz simulações imprecisas e possui interface confusa	Simulação em tempo real na câmera
Contras	Interface desatualizada, não oferece suporte para todos os navegadores	Não simula todos os tipos de daltonismo	Simulações imprecisas e interfaces confusas	Pago	Poucas opções de personalização
Observações	Útil para desenvolvedores testarem a acessibilidade de seus sites	Pode ser usada para melhorar a legibilidade dos sites	Não recomendada para usuários iniciantes	Ferramenta completa para testes de acessibilidade	Útil para simular a visualização do indivíduo portador de daltonismo

Fonte: Autores, 2025.

A principal lacuna identificada é a ausência de um mecanismo de adaptação visual das interfaces digitais, e, sobretudo, de um sistema inteligente capaz de identificar o tipo e grau de daltonismo do usuário para realizar ajustes finos e contextuais. As ferramentas existentes, em sua

maioria, operam como simuladores ou filtros genéricos, exigindo que o usuário pré-configurar manualmente ou oferecendo opções de ajuste limitadas. Essa limitação impede uma experiência verdadeiramente fluida e otimizada, que se adapte dinamicamente às necessidades individuais e ao conteúdo exibido

3.1 Proposição de Modelo Adaptativo

O modelo adaptativo representa uma formulação teórica que busca não apenas preencher as lacunas identificadas na literatura e nas ferramentas existentes, mas também demonstrar a aplicação prática dos princípios do design inclusivo, considerando a diversidade das necessidades e capacidades do usuário na concepção da solução; da ergonomia, focando na otimização da interação humana-computador e na redução da carga cognitiva; e da inteligência artificial, empregada para a personalização e adaptação dinâmica do sistema no desenvolvimento de soluções para acessibilidade digital, servindo como um estudo para o ensino de design.

Considerando as lacunas identificadas na literatura e nas limitações das ferramentas existentes, propõe-se uma solução teórica para um sistema adaptativo que emprega inteligência artificial (IA) para a identificação precisa do tipo e grau de daltonismo do usuário e, com base nessa identificação, realizar a personalização cromática da interface digital. É por meio da IA que o sistema ajusta automaticamente cores e contrastes conforme o perfil do usuário, derivado de dados ou preferências do utilizador. A arquitetura do modelo é composta por três componentes principais:

Recurso de identificação do tipo e grau de daltonismo: Este componente é o centro da personalização inteligente. Utiliza dados sensoriais e comportamentais do usuário para determinar com precisão o tipo e o grau de daltonismo. Os dados podem ser coletados por meio de: Testes de visão de cores, com implementação de avaliações digitais adaptadas (similares ao Ishihara, mas com maior granularidade) que avaliam a capacidade do usuário de distinguir cores específicas. Questionários Adaptativos: Perguntas relacionadas à dificuldade em distinguir cores em diferentes contextos, com base nas preferências e percepções do próprio usuário.

Análise Comportamental (IA): Um algoritmo de classificação baseado em redes neurais processa esses dados, aprendendo padrões de resposta para identificar o nível da deficiência. A IA seria treinada com um vasto banco de dados de usuários daltônicos, permitindo uma quantificação precisa da gravidade para ajustes finos.

Contribuição Ergonômica: Essa identificação precisa é fundamental para personalizar a experiência, evitando soluções genéricas e ineficazes. Reduz a carga cognitiva do usuário, que não precisa mais adivinhar ou configurar manualmente seu tipo de daltonismo. Este componente exemplifica a aplicação de princípios de design centrado no usuário e a importância da coleta de dados para soluções personalizadas, tópicos cruciais no ensino de design.

Conjunto de métodos de ajuste de cores e contrastes: Este componente é responsável pela alteração dinâmica das cores e contrastes da interface em tempo real, com base nas informações fornecidas pelo recurso de identificação de daltonismo. Inclui: Mapeamento de coloração (IA): Algoritmos avançados de IA (ex: redes neurais convolucionais ou transformadores) que reconfiguram os valores RGB das pigmentações para torná-las mais distinguíveis para o tipo específico de daltonismo do usuário. Isso pode envolver a simulação inversa do daltonismo ou a aplicação de filtros de matiz/saturação/luminosidade de forma inteligente.

Correção de contraste dinâmica: Algoritmos que aumentam a diferença de luminosidade entre o texto e o fundo, ou entre elementos visuais importantes, garantindo a legibilidade e a distinguibilidade. Técnicas como equalização de histograma adaptativo ou ajuste automático de luminância seriam empregadas.

Contribuição ergonômica: Essas técnicas visam diminuir a carga visual e cognitiva do usuário, facilitando o processamento da informação e reduzindo o esforço. Ao assegurar a diferenciação das cores sem comprometer a estética, o modelo melhora a experiência do usuário, tornando-a mais agradável e menos cansativa, em conformidade com os princípios de usabilidade e conforto visual. A complexidade e a sofisticação desses algoritmos representam um desafio e uma oportunidade de aprendizado para estudantes de design e tecnologia, demonstrando como

a teoria da cor e a programação podem se unir para criar soluções acessíveis.

Painel do usuário personalizável: Um painel de controle intuitivo e acessível que permite ao usuário ajustar as configurações do modelo de acordo com suas preferências individuais. As opções incluiriam:

Intensidade dos filtros: Sliders para controlar o grau de aplicação dos ajustes de cores.

Paletas de cores otimizadas: Escolha entre diferentes paletas pré-definidas, orientadas pelos princípios de design acessível e otimizadas para diferentes tipos de daltonismo.

Modos de visualização: Opções para alternar entre diferentes modos de daltonismo simulados, para desenvolvedores ou para usuários que desejam comparar.

Contribuição ergonômica: Projetado segundo as diretrizes WCAG, este painel garante que as opções de personalização sejam fáceis de usar e acessíveis. Ele representa um pilar ergonômico fundamental, pois confere ao usuário o controle sobre sua própria experiência, um princípio central da ergonomia de sistemas. A possibilidade de personalizar as configurações de acordo com as preferências pessoais e o contexto de uso favorece a autonomia, a satisfação e a eficácia da interação. Este componente, em particular, serve como um exemplo prático de como a teoria da acessibilidade e da usabilidade se traduz em um design de interface funcional e empoderador, sendo um tópico relevante para discussões em sala de aula.

Um exemplo prático da aplicação deste modelo seria em um site de e-commerce, onde as cores dos produtos, botões de ação e elementos de navegação seriam ajustados automaticamente para cada usuário daltônico, proporcionando uma experiência de navegação acessível e personalizada.

3.2 Análise Comparativa

A última etapa consistiu na elaboração de uma investigação comparativa entre o modelo conceitual proposto e as soluções existentes (Color Oracle, Sim Daltonism, Daltonize, Funkify, See). O objetivo foi enfatizar os

benefícios e as vantagens do modelo proposto em relação às limitações das ferramentas atuais, considerando os seguintes critérios: Tipos de Daltonismo Suportados, Nível de Personalização, Usabilidade, Integração com o Sistema, Conformidade com WCAG, Adaptação em Tempo Real, Suporte por Inteligência Artificial e Identificação Automática do Daltonismo.

Tipos de Daltonismo suportados: Enquanto Color Oracle e Funkify abrangem os três principais tipos de daltonismo, Sim Daltonism, Daltonize e See possuem suporte mais limitado. O modelo proposto, por sua vez, supera essas restrições ao integrar um sistema de identificação baseado em IA, que permite ajustes algorítmicos finos para qualquer tipo e grau de daltonismo, incluindo variações menos comuns, o que representa um benefício significativo e uma capacidade não encontrada nas ferramentas atuais.

Nível de personalização: a maior parte das ferramentas existentes oferecem personalização limitada ou genérica. Funkify se destaca como a que oferece a maior possibilidade de personalização, embora ainda com algumas restrições. O modelo sugerido sobressai devido ao seu painel de usuário customizável e aos algoritmos de IA, que permitem um controle detalhado sobre a intensidade dos filtros, a seleção de paletas otimizadas e o ajuste de contraste, adaptando-se de forma singular às preferências individuais do usuário.

Usabilidade: Sim Daltonism é geralmente a ferramenta mais simples de usar, enquanto Color Oracle e Funkify podem exigir alguma habilidade técnica. Daltonize e See são simples, mas com funcionalidades restritas. O modelo proposto, embora conceitual, foi projetado com foco na usabilidade, apresentando uma interface intuitiva e opções acessíveis para o painel de controle, visando ser tão ou mais fácil de usar que as soluções mais simples, mas com muito mais poder de adaptação.

Integração com o sistema: Funkify e See se sobressaem como complementos para navegadores. Color Oracle requer instalação no sistema operacional, o que pode restringir a compatibilidade. Sim Daltonism é restrito a iOS e macOS, e Daltonize é uma extensão para Chrome. A aplicação ideal do modelo proposto seria compatível com o

maior número de sistemas, navegadores e plataformas, garantindo uma integração mais abrangente e flexível.

Conformidade com WCAG: Funkify se destaca por oferecer ferramentas que auxiliam programadores na conformidade. Color Oracle e See fornecem suporte restrito às diretrizes WCAG, enquanto Sim Daltonism e Daltonize não focam explicitamente nisso. O modelo proposto, ao seguir as diretrizes WCAG no design de seu painel de personalização e na aplicação dos ajustes de cores, visa alta conformidade, garantindo que a própria solução seja acessível.

Adaptação em tempo real: O modelo sugerido se destaca por sua habilidade de Adaptação em Tempo Real, ajustando cores e contraste dinamicamente conforme o conteúdo exibido e as preferências do usuário. Funkify e See também disponibilizam essa funcionalidade, porém de forma mais restrita. Color Oracle, Sim Daltonism e Daltonize não oferecem adaptação em tempo real.

Suporte por Inteligência Artificial e identificação automática do Daltonismo: Este é o principal diferencial e a maior inovação do modelo proposto. Nenhuma das ferramentas avaliadas integra um sistema robusto de IA para identificar automaticamente o tipo e o grau de daltonismo do usuário e, com base nisso, reconfigurar automaticamente a coloração da interface. As soluções existentes dependem da configuração manual do usuário ou aplicam filtros genéricos. O modelo proposto, com seu recurso de identificação baseado em IA, oferece uma capacidade de personalização e adaptação.

Em síntese, enquanto as ferramentas existentes oferecem soluções parciais, o modelo proposto representa um avanço ao integrar a identificação inteligente do daltonismo, a adaptação dinâmica em tempo real e a personalização granular, tudo orquestrado por IA. Embora o sistema apresente vantagens claras, é importante reconhecer que, por ser uma proposta teórica, sua implementação prática pode apresentar desafios relacionados à complexidade dos mecanismos de IA e à necessidade de coletar dados precisos dos usuários para treinamento e validação. Esses desafios, por sua vez, oferecem oportunidades para futuros projetos de

pesquisa e desenvolvimento em contextos acadêmicos, estimulando a inovação e o aprendizado contínuo.

4 Conclusões

Este estudo teve como objetivo principal propor e conceituar um modelo adaptativo de cores e contrastes para interfaces digitais, impulsionado por Inteligência Artificial (IA), visando aprimorar a acessibilidade e a experiência de usuários daltônicos. Por meio de uma revisão sistemática da literatura e de uma análise comparativa aprofundada das ferramentas existentes, foi possível identificar as principais lacunas e necessidades no campo. A formulação do modelo teórico aqui apresentado representa o alcance desse objetivo, integrando os princípios de design inclusivo, ergonomia e inteligência artificial para oferecer uma solução mais abrangente e personalizada do que as abordagens atuais.

As contribuições deste trabalho são de natureza teórica e prática. Teoricamente, o estudo oferece um modelo conceitual inovador que sintetiza conhecimentos de diversas áreas para abordar de forma mais eficaz o desafio da acessibilidade para daltônicos, preenchendo uma lacuna na literatura ao propor um sistema capaz de identificação precisa, adaptação dinâmica e personalização granular. Na esfera prática, as análises realizadas e o modelo proposto servem como um roteiro e um referencial para o desenvolvimento futuro de interfaces digitais verdadeiramente equitativas e eficientes, especialmente considerando a necessidade crescente de inclusão digital.

É importante reconhecer as limitações inerentes a este estudo. Sendo uma proposta teórica e conceitual, o modelo não passou por validação empírica com usuários reais nesta fase, nem envolveu a implementação de um protótipo funcional. A análise das ferramentas existentes, embora sistemática, baseou-se em avaliações heurísticas, o que confere um caráter exploratório.

Essas limitações, no entanto, abrem um fértil campo para estudos futuros. Para validar e refinar o modelo proposto, sugere-se as seguintes etapas:

Criação e implementação de um protótipo funcional para o sistema de identificação de daltonismo (por meio de testes ou questionários) e um software de ajuste de cores baseado em IA.

Condução de testes de usabilidade com usuários daltônicos reais, utilizando tarefas específicas em interfaces adaptadas pelo modelo, coletando feedback qualitativo (por meio de entrevistas e observação) e quantitativo (tempo de tarefa e intervalo de erros).

Avaliação da eficácia da adaptação, comparando o desempenho e a satisfação dos usuários em interfaces adaptadas e não adaptadas, utilizando métricas de legibilidade e distinção de cores.

Aprimoramento iterativo dos algoritmos de mapeamento de cores e correção de contraste com base nos dados coletados para otimizar a experiência visual.

Exploração da interoperabilidade do modelo com outras tecnologias assistivas para uma solução mais abrangente.

Em suma, este modelo teórico demarca um caminho promissor para a construção de interfaces digitais mais inclusivas e para a promoção da autonomia e da participação plena de pessoas com daltonismo na sociedade da informação. Ele reforça o papel central do design e da ergonomia na otimização da interação humana com a tecnologia, garantindo acessibilidade, conforto e eficiência para todos os usuários.

1 Correção gramatical realizada por: Daniele da Silva Cordeiro, graduada em Letras pela Faculdade CNEC Itaboraí (2016)
E-mail: nielecordeiro@hotmail.com e Laura Daniela Valentini, graduada em Publicidade e Propaganda pela Unochapecó – Universidade Comunitária da Região de Chapecó (2014)
E-mail: iamlauravalentini@gmail.com

Agência de pesquisa financiadora da pesquisa

Não houve agência financiadora nesta pesquisa.

Declaração de conflito de Interesses

Os autores declaram não ter conhecimento de conflitos de interesses financeiros ou relacionamentos pessoais que possam ter influenciado o trabalho relatado neste artigo.

Declaração de Contribuição dos Autores e Colaboradores (CRediT - Contributor Roles Taxonomy)

Concepção do trabalho: Bruna Cordeiro Machado teve a ideia inicial do projeto, formulou a hipótese da pesquisa, metodologia, desenvolvimento da pesquisa e conclusões. Claudelino Martins Dias Junior orientou e acompanhou todo o processo de elaboração do estudo e Daniele da Silva Cordeiro, graduada em letras pela Faculdade CNEC Itaboraí - 2016 e Laura Daniela Valentini, graduada em Publicidade e Propaganda pela Unochapecó - Universidade Comunitária da Região de Chapecó - 2014 realizaram a correção.

Material suplementar

Todos os dados necessários para reproduzir os resultados estão contidos no próprio artigo.

Agradecimentos

A autora agradece ao professor Claudelino, a Daniele e a Laura pelo auxílio no desenvolvimento do projeto, bem como aos pareceristas e à equipe editorial da revista pelas valiosas sugestões para o aprimoramento deste trabalho.

Referências

ACCESSIBLE WEB. **Color Contrast Checker**. Disponível em: <https://accessibleweb.com/color-contrast-checker/>. Acesso em: 07 mar. 2025.

Bessler, L. (2023). **Princípios de comunicação - Uso eficaz da cor**. Em: **Visual Data Insights Using SAS ODS Graphics**. Apress, Berkeley, CA. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-8609-8_2. Acesso em: 30 mar. 2025.

BRASIL. **Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015**. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 jul. 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 17 abr. 2025.

Clarkson, PJ, Coleman, R., Keates, S. e Lebbon, C. (2013) **Design inclusivo: Design para toda a população**. Springer, Berlim.

COLOR BLIND AWARENESS. **Color Blindness Statistics**. Disponível em: <https://www.colourblindawareness.org>. Acesso em: 28 mar. 2025.

GEDDES, Connor; FLATLA, David R.; CONNELLY, Ciabhan L. **30 years of solving the wrong problem: how recolouring tool design fails those with colour vision deficiency**. 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2302.05532>. Acesso em: 25 mar. 2025.

INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Color Accessibility Lab (COLLIE)**. Disponível em: <https://cta-ifrs.github.io/collie/>. Acesso em: 10 mai. 2025.

JAMIL, S.; DENES, A. **Acessibilidade web para pessoas com daltonismo: uma revisão sistemática da literatura**. Anais do Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais, p. 123-132, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2402.14157>. Acesso em 14 abr. 2025

MATY, Shauna; SANTANA, Kristen; HAGE, Robert. **Strategies for Management of Color Vision Deficiency in an Educational Setting.** In: JOURNAL OF ANATOMY. 111 RIVER ST, HOBOKEN 07030- 5774, NJ USA: WILEY, 2020. p. 268-269.

POTTER, M. C. et al. **Detecting meaning in RSVP at 13 ms per picture.** Attention, Perception, & Psychophysics, v. 76, n. 6, p. 1670-1679, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0630-4>. Acesso em: 29 abr. 2025.

RODRIGUES, A.; SILVA, B.; LIMA, C. **Daltonismo: prevalência e impacto na qualidade de vida.** Revista Brasileira de Oftalmologia, v. 81, n. 4, p. 345-352, 2022.