



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

MATEUS PINHEIRO DE GÓES CARNEIRO

SIMULAÇÕES DE DALTONISMO NO DESENVOLVIMENTO DE JOGOS
CROMATICAMENTE ACESSÍVEIS PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS

FORTALEZA

2024

MATEUS PINHEIRO DE GÓES CARNEIRO

SIMULAÇÕES DE DALTONISMO NO DESENVOLVIMENTO DE JOGOS
CROMATICAMENTE ACESSÍVEIS PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Ciência da Computação do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciência da Computação. Área de Concentração: Interação Humano-Computador

Orientadora: Profa. Dra. Ticianne de Gois Ribeiro Darin

Coorientador: Prof. Dr. Windson Viana de Carvalho

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C289s Carneiro, Mateus Pinheiro de Goes.

Simulações de daltonismo no desenvolvimento de jogos cromaticamente acessíveis para dispositivos móveis / Mateus Pinheiro de Goes Carneiro. – 2024.
119 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Fortaleza, 2024.

Orientação: Profa. Dra. Ticianne de Gois Ribeiro Darin.

Coorientação: Prof. Dr. Windson Viana de Carvalho.

1. Daltonismo. 2. Simulações. 3. Acessibilidade. 4. Jogos para dispositivos móveis. 5. Indústria. I. Título.
CDD 005

MATEUS PINHEIRO DE GÓES CARNEIRO

SIMULAÇÕES DE DALTONISMO NO DESENVOLVIMENTO DE JOGOS
CROMATICAMENTE ACESSÍVEIS PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Ciência da Computação do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciência da Computação. Área de Concentração: Interação Humano-Computador

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ticianne de Gois Ribeiro
Darin (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Windson Viana de Carvalho (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. André Pimenta Freire
Universidade Federal de Lavras (UFLA)

Profa. Dra. Kamila Rios da Hora Rodrigues
Universidade de São Paulo (ICMC/USP)

Profa. Dra. Emanuele Marques Rodrigues Santos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Para Íara.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a minha família, no maior sentido da palavra, que me deu suporte em todas as fases e decisões da minha vida e, sem a qual, eu não estaria aqui. Em especial, agradeço aos meus pais Eduardo e Alessandra por todo o amor, compreensão e esforço, e aos meus irmãos Lucas e Maria Eduarda e minha cunhada Bia pelo companheirismo. Agradeço também a Canjande, que tanto se alegra de me ver concluindo o mestrado, por todo o apoio e carinho.

Não tenho palavras para agradecer todo o amor e apoio incondicional do meu marido Igor Duarte. Sem você este trabalho não estaria aqui, especialmente as tabelas. Obrigado por fazer parte dessa aventura comigo.

Agradeço imensamente à minha orientadora, não só do mestrado, mas também de toda a minha vida acadêmica, Profa. Dra. Ticianne Darin. Muito obrigado pelos infinitos ensinamentos, pela confiança, pelas oportunidades, pela paciência (!!!), pela inspiração e pela amizade. Trabalhar com você é um prazer e um orgulho para mim.

Ao Prof. Dr. Windson Viana, que me acolheu prontamente desde o início do mestrado. Obrigado pela oportunidade e por tantas contribuições e ensinamentos importantes.

Às professoras Kamila Rios, Rossana Andrade e Emanuele Marques e ao professor André Freire que gentilmente disponibilizaram seu tempo, conhecimento e experiência para contribuir com este trabalho.

Aos amigos da Célula Multimídia, em especial Bianca, David, Caio e Luiz, que estiveram sempre disponíveis para ajudar. Muito obrigado à Nayana, que dividiu comigo as ansiedades do mestrado (mesmo ela já tenho terminado o dela) e me fez sentir menos isolado. Agradeço também ao Rafael, que me ajudou imensamente durante a criação do protótipo utilizado nesta pesquisa e fez isso enquanto ouvia minhas lamúrias.

Aos meus amigos, pela cumplicidade e por sustentarem minha saúde mental à base de memes e jogos de vôlei semanais.

A todas as pessoas que participaram dos experimentos e das avaliações que eu conduzi nesta pesquisa.

Por fim, agradeço a todos os professores e funcionários do MDCC pela prestatividade e à CAPES por ter me concedido os meios para aprimorar meus conhecimentos durante esse período.

“Ser todo é ser parte.”

(Ursula K. Le Guin)

RESUMO

Os videogames são uma parte importante da cultura moderna, principalmente após a popularização dos dispositivos móveis, devendo, portanto, ser acessíveis a todas as pessoas. No entanto, mesmo com o avanço da acessibilidade móvel, jogadores com deficiência visual ainda enfrentam barreiras devido ao foco inerente dos jogos em estímulos visuais. Nesse contexto, os jogadores daltônicos são afetados pela forma como as cores são usadas nas interfaces, principalmente quando essas cores são a base para mecânicas essenciais dos jogos. Entretanto, a criação de jogos cromaticamente acessíveis apresenta alguns aspectos desafiadores como a disponibilidade limitada de participantes com daltonismo para testes e a importância de identificar e considerar as ameaças de acessibilidade mesmo nos estágios iniciais de desenvolvimento. Assim, as simulações digitais de daltonismo surgem como possíveis ferramentas para aumentar a acessibilidade e conscientização. Nesse contexto, este trabalho explora o uso dessas ferramentas no desenvolvimento de jogos para dispositivos móveis. Para isto, utilizou-se uma metodologia de 5 passos, incluindo 3 experimentos que buscaram (1) explorar o uso de diferentes tipos de simulação de daltonismo no contexto real de desenvolvimento de um jogo *mobile*, (2) verificar o uso de simulações de daltonismo para identificar problemas de acessibilidade cromática em jogos e (3) analisar a percepção de significados de cores em jogos através das simulações de daltonismo. Resultados apontam para vantagens no uso dessas ferramentas em diferentes estágios do desenvolvimento de jogos quando em combinação com *guidelines* de acessibilidade e pesquisas com jogadores com daltonismo. Adicionalmente, as discussões levantadas por este trabalho foram organizadas em recomendações para auxiliar designers e desenvolvedores de jogos a integrar as simulações de daltonismo em sua atividade profissional.

Palavras-chave: daltonismo; simulações; acessibilidade; jogos para dispositivos móveis; indústria.

ABSTRACT

Video games are an important part of modern culture, particularly after the popularization of mobile devices, and should, therefore, be accessible to all people. However, even with the advancement of mobile accessibility, players with visual disabilities still face barriers due to the inherent focus of games on visual stimuli. In this context, color blind players are affected by how colors are used in the interfaces, especially when these colors are the basis for essential game mechanics. However, creating chromatically accessible games imposes some challenging aspects such as the limited availability of color-blind participants for testing and the importance of identifying and considering accessibility threats even in the early stages of development. In this context, this work explores the use of these tools in the development of games for mobile devices. For this, a 5-step methodology was used, including 3 experiments that sought to (1) explore the use of different types of color blindness simulation in the real context of developing a mobile game, (2) verify the use color blindness simulations to identify color accessibility problems in games and (3) analyze the perception of color meanings in games through color blindness simulations. Results point to advantages in the use of these tools in different stages of game development when combined with accessibility guidelines and tests with color blind players. In addition, the issues raised by this work were organized into recommendations to help game designers and developers to integrate color blindness simulations into their professional activity.

Keywords: color blindness simulations; accessibility; mobile games; industry.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1 – Resumo das etapas da metodologia | 17 |
| Figura 2 – Demonstração da codificação de cores de ColorADD | 23 |
| Figura 3 – Comparação de duas versões de fase do jogo Link's Awakening | 25 |
| Figura 4 – Modo para jogadores daltônicos do jogo Far Cry New Dawn | 26 |
| Figura 5 – Resumo do procedimento do experimento EXP1 | 34 |
| Figura 6 – Telas do jogo Mage Chef | 36 |
| Figura 7 – Representação do uso da simulação em realidade aumentada | 38 |
| Figura 8 – Atividade 1 da ferramenta Stark e simulações de daltonismo resultantes . . . | 40 |
| Figura 9 – Atividade 3 da fase 2 de EXP1 e resultados de simulações de daltonismo feitas com a ferramenta Stark | 44 |
| Figura 10 – Eficácia na identificação de problemas de acessibilidade cromática usando um simulador em realidade aumentada (SDO) por anos de experiência em IHC do participante | 46 |
| Figura 11 – Concordância dos avaliadores em cada uma das recomendações | 80 |
| Figura 12 – Médias das respostas aos critérios de avaliação geral das recomendações . . | 80 |
| Figura 13 – Demonstração de simulação de protanopia, deuteranopia e tritanopia | 97 |
| Figura 14 – Demonstração de <i>feedback</i> de dano com simulações de protanopia e deuteranopia | 108 |
| Figura 15 – Demonstração de <i>feedback</i> de enjoo com simulações de protanopia e deuteranopia | 113 |
| Figura 16 – Frutas com efeitos opostos e simulação de protanopia | 116 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 – Resumo de metodologias utilizadas para a criação e avaliação de jogos cromaticamente acessíveis | 32 |
| Tabela 2 – Perfis de participantes do EXP1 | 35 |
| Tabela 3 – Áreas problemáticas identificadas na inspeção heurística | 41 |
| Tabela 4 – Eficácia das ferramentas por participante nas atividades da primeira etapa do EXP1 | 43 |
| Tabela 5 – Número de problemas identificados com e sem a simulação de realidade aumentada na segunda etapa do EXP1 | 45 |
| Tabela 6 – Resumo comparativo de grupos de <i>guidelines</i> | 49 |
| Tabela 7 – Problemas controlados de acessibilidade inseridos no protótipo de EXP2 | 53 |
| Tabela 8 – Participantes de EXP2 | 55 |
| Tabela 9 – Problemas controlados e extras registrados em EXP2 | 61 |
| Tabela 10 – Resultados do questionário de significados de cores em jogos de EXP3 para os perfis PD (participante com daltonismo) e PVT (participante com visão típica). | 65 |
| Tabela 11 – Contribuições da participação de jogadores daltônicos e de simulações de daltonismo em etapas do ciclo de vida de desenvolvimento de jogos | 73 |
| Tabela 12 – Perfil de avaliadores da Etapa 4 | 77 |
| Tabela 13 – Consolidação dos aspectos positivos e negativos das recomendações | 81 |
| Tabela 14 – Consolidação dos aspectos ausentes e a melhorar das recomendações | 82 |
| Tabela 15 – Trabalhos publicados com relação direta a esta dissertação | 86 |
| Tabela 16 – Publicações desenvolvidas no decorrer desta dissertação | 86 |
| Tabela 17 – Características dos tipos de simulação | 105 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|--|
| APX | <i>Accessible Player Experiences</i> |
| BRUMS | Escala de Humor de Brunel |
| CSUQ | <i>Computer System Usability Questionnaire</i> |
| DVC | Deficiência na Visão de Cores |
| GAG | <i>Game Accessibility Guidelines</i> |
| IHC | Interação Humano-Computador |
| PCD | Pessoa com Deficiência |
| PNJ | Personagem não jogável |
| SDO | Simulador de Doenças Oculares |
| WCAG | <i>Web Content Accessibility Guidelines</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|------------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 | Questões de pesquisa | 15 |
| 1.2 | Objetivos | 15 |
| 1.3 | Metodologia resumida | 16 |
| 2 | ETAPA 1: REVISÃO DA LITERATURA | 19 |
| 2.1 | Metodologia | 19 |
| 2.2 | Acessibilidade | 20 |
| 2.2.1 | <i>Acessibilidade para indivíduos com deficiência na visão de cores</i> | 22 |
| 2.3 | Acessibilidade para jogadores com deficiência na visão de cores | 24 |
| 2.3.1 | <i>Estratégias para a criação de jogos cromaticamente acessíveis</i> | 26 |
| 2.3.2 | <i>Simulações de daltonismo no design e desenvolvimento de jogos</i> | 28 |
| 2.4 | Trabalhos relacionados | 29 |
| 2.4.1 | <i>Trabalhos que exploram a criação de jogos cromaticamente acessíveis</i> | 29 |
| 2.4.2 | <i>Trabalhos que exploram o uso de simulações como ferramentas para identificação de problemas de acessibilidade</i> | 31 |
| 2.5 | Considerações finais | 32 |
| 3 | ETAPA 2: INVESTIGAÇÃO DE FERRAMENTAS | 33 |
| 3.1 | Metodologia | 33 |
| 3.1.1 | <i>Experimento 1 (EXPI): Estudo com simulações de daltonismo em contexto real</i> | 33 |
| 3.1.1.1 | <i>Contexto e participantes</i> | 35 |
| 3.1.1.2 | <i>Materiais e Métodos</i> | 36 |
| 3.1.1.2.1 | Jogo | 36 |
| 3.1.1.2.2 | Ferramentas de simulação | 37 |
| 3.1.1.2.3 | Dispositivos utilizados | 38 |
| 3.1.1.3 | <i>Procedimento</i> | 38 |
| 3.1.1.3.1 | Fase 1: Procedimentos Iniciais | 38 |
| 3.1.1.3.2 | Fase 2: Atividades de design | 39 |
| 3.1.1.3.3 | Fase 3: Avaliação empírica de <i>gameplay</i> | 40 |
| 3.1.1.4 | <i>Análise dos resultados</i> | 40 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3.1.2 | <i>Guidelines: Estudo comparativo</i> | 42 |
| 3.2 | Resultados do Experimento 1 (EXP1): Estudo com simulações de daltonismo em contexto real | 42 |
| 3.2.1 | <i>Fase 2: Atividades de design</i> | 43 |
| 3.2.2 | <i>Fase 3: Avaliação empírica do gameplay</i> | 44 |
| 3.2.3 | <i>Fase 4: Considerações sobre as ferramentas</i> | 46 |
| 3.3 | Resultados do Estudo Comparativo de Guidelines | 48 |
| 3.4 | Conclusão | 49 |
| 4 | ETAPA 3: ESTUDO APROFUNDADO | 51 |
| 4.1 | Metodologia | 51 |
| 4.1.1 | <i>Experimento 2 (EXP2): Identificação de problemas de acessibilidade cromática</i> | 51 |
| 4.1.1.1 | <i>Materiais</i> | 52 |
| 4.1.1.2 | <i>Participantes</i> | 54 |
| 4.1.1.3 | <i>Procedimento</i> | 55 |
| 4.1.2 | <i>Experimento 3 (EXP3): Percepção de cores e significados</i> | 56 |
| 4.1.2.1 | <i>Participantes</i> | 57 |
| 4.1.2.2 | <i>Material</i> | 57 |
| 4.1.2.3 | <i>Procedimento</i> | 58 |
| 4.1.3 | <i>Análise dos resultados</i> | 59 |
| 4.2 | Resultados do Experimento 2 (EXP2): Identificação de problemas de acessibilidade cromática | 60 |
| 4.2.1 | <i>Contraste insuficiente entre inimigo e partes do plano de fundo (P2)</i> | 61 |
| 4.2.2 | <i>Objetos com efeitos opostos sendo diferenciados por cor (P1)</i> | 62 |
| 4.2.3 | <i>Mudança no estado do personagem indicada por cor (P5)</i> | 63 |
| 4.2.4 | <i>Feedback de dano dado através de cor (P4)</i> | 63 |
| 4.2.5 | <i>Indicador de vida com pouco contraste com o plano de fundo (P3)</i> | 64 |
| 4.3 | Resultados do Experimento 3 (EXP3): Percepção de cores e significados | 64 |
| 4.3.1 | <i>Força</i> | 65 |
| 4.3.2 | <i>Saúde</i> | 66 |
| 4.3.3 | <i>Papel narrativo de Personagem Não-Jogável (PNJ)</i> | 66 |
| 4.4 | Conclusão | 67 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5 | DISCUSSÃO | 68 |
| 5.1 | Quando os desenvolvedores têm vantagem na identificação de problemas de acessibilidade cromática | 68 |
| 5.2 | Quando matiz não significa nada | 70 |
| 5.3 | Quando a hora certa para utilizar cada abordagem chega | 72 |
| 5.4 | Conclusão | 75 |
| 6 | ETAPA 4: SÍNTESE DE RECOMENDAÇÕES | 76 |
| 6.1 | Metodologia | 76 |
| 6.1.1 | <i>Avaliação das recomendações</i> | 76 |
| 6.2 | Versão preliminar das recomendações | 78 |
| 6.3 | Avaliação das recomendações | 79 |
| 6.4 | Versão final das recomendações | 81 |
| 6.5 | Conclusão | 83 |
| 7 | CONCLUSÕES E TRABALHOS | 84 |
| 7.1 | Resultados alcançados | 84 |
| 7.2 | Limitações | 87 |
| 7.3 | Trabalhos futuros | 88 |
| | REFERÊNCIAS | 90 |
| | APÊNDICE A–RECOMENDAÇÕES PARA O USO DE SIMULAÇÕES DE DALTONISMO NA CRIAÇÃO DE JOGOS CROMATICAMENTE ACESSÍVEIS PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS (VERSÃO FINAL) . . | 97 |

1 INTRODUÇÃO

Jogos digitais são produtos midiáticos que estão fortemente presentes na nossa cultura e constituem uma indústria forte e em crescimento (AGUADO-DELGADO *et al.*, 2020). Essa presença se intensificou com a popularização dos *smartphones*, que facilitam a pervasidade e o acesso contínuo aos jogos, principalmente com a prevalência do modelo *free-to-play* que não gera custos iniciais para jogar (NIEBORG, 2015). Além de servir como entretenimento, jogos digitais são aplicados em diversas esferas da vida moderna, como educação (SILVEIRA, 2020) e saúde (SHARIFZADEH *et al.*, 2020). Dessa forma, os jogos digitais apresentam grande influência na cultura popular, criando comunidades e influenciando na socialização e até na auto-identificação dos jogadores (JUNG, 2020).

Apesar do crescimento no interesse em jogos para dispositivos móveis, uma considerável parcela da população é excluída ou têm seu acesso a esses produtos dificultado por possuírem algum tipo de deficiência física (e.g.: visual, auditiva, motora) ou cognitiva (CAIRNS *et al.*, 2019). Para minimizar esses problemas, os *smartphones* modernos disponibilizam diversas tecnologias assistivas como reconhecimento de voz, leitores de tela (e.x.:Talkback, VoiceOver) e controladores adaptáveis. Entretanto, muitas dessas soluções não são compatíveis com as diversas plataformas de desenvolvimento de jogos disponíveis no mercado. Essa incompatibilidade está relacionada com a forma como a maioria dos jogos é desenvolvida, nos quais os componentes (e.g.: botões, textos alternativos) de interface de usuário nativos dos sistemas operacionais não são usados (ALSHAYBAN *et al.*, 2020). Além disso, para que os jogos sejam acessíveis, suas mecânicas devem ser cuidadosamente pensadas, visto que o propósito principal de um jogo é o entretenimento (YUAN *et al.*, 2011). Isso se torna mais difícil quando se pensa na baixa representatividade de Pessoa com Deficiência (PCD)¹ na indústria de jogos e em como o desenvolvimento de jogos acessíveis muitas vezes está ligado ao contato próximo da equipe de desenvolvimento com PCDs (PORTER; KIENZ, 2013).

Além dessas limitações que impactam na acessibilidade, jogos digitais tendem a depender fortemente de recursos visuais para transmitir informações, prejudicando particularmente a experiência de jogadores com deficiência visual (ANDRADE *et al.*, 2019). Elemento como textos, ícones, cores e formas são utilizados para comunicar informações indispensá-

¹ O termo Pessoa com Deficiência foi definido pela Convenção das Nações Unidas sobre o Direito das Pessoas com Deficiência, sendo aprovado em 13 de dezembro de 2006 pela Assembleia Geral da ONU. Foi ratificado no Brasil, com equivalência de emenda constitucional, pelo Decreto Legislativo nº 186/2008 e promulgado pelo Decreto nº 6.949/2009.

veis para os jogadores. As cores, particularmente, são elementos visuais poderosos utilizados desde em *feedbacks* até como componentes essenciais das mecânicas dos jogos, e podem afetar tanto a performance (NAPOLI; CHIASSON, 2018), quanto as emoções dos jogadores (KAO; HARRELL, 2016). Nesse âmbito, o Daltonismo, que afeta a visão de cores, pode prejudicar fortemente a experiência oferecida por jogos que dependem exclusivamente de cores para esses usos. Estima-se que essa deficiência atinja, em diversos níveis de severidade, 8% da população mundial masculina e 0,5% da feminina (SIMUNOVIC, 2010).

Por mais que o daltonismo seja contemplado de forma relativamente frequente nas opções de acessibilidade oferecidas em grandes franquias de jogos, muitas vezes as soluções oferecidas não consideram as especificidades de cada jogo, se resumindo ao uso de paletas de cores acessíveis e filtros ultrapassados, que podem até prejudicar a experiência (BROWN; ANDERSON, 2020). Emerge, então, a necessidade de que as ameaças à acessibilidade cromática de um jogo sejam identificadas e consideradas logo durante seu processo de concepção e desenvolvimento (PLOTHE, 2018). Entretanto, um dos principais desafios, já amplamente discutidos na literatura (LAZAR *et al.*, 2017; KULIK *et al.*, 2021), para o processo de desenvolvimento de jogos acessíveis é viabilizar a participação de usuários com deficiências que, quando acontece, fica restrita às fases finais do desenvolvimento dos projetos e aos grandes estúdios que possuem maior disponibilidade de recursos (KULIK *et al.*, 2021). Isso se torna ainda mais complexo no contexto de jogos para dispositivos móveis e casuais, que costumam ser desenvolvidos em ciclos mais acelerados e com orçamentos menores (JIANG; LIU, 2022; KLIUCH, 2022).

A participação de usuários daltônicos é indispensável para a criação de jogos acessíveis (BENNETT; ROSNER, 2019), entretanto, aplicações que simulam visão com diferentes particularidades vêm consistentemente sendo discutidas na literatura como ferramentas complementares para incluir a discussão sobre acessibilidade no desenvolvimento de jogos (MANKOFF *et al.*, 2005; ATEES *et al.*, 2015; CHOO *et al.*, 2019). Apesar do potencial identificado, o uso de simulações para o design e avaliação de jogos tem limitações. Por exemplo, o uso de simulações pode estereotipar a vivência de PCDs e induzir a detecção de problemas falsos, além do risco de afastar os jogadores com deficiência do processo de criação de jogos (BENNETT; ROSNER, 2019).

Diante da necessidade de avaliar a acessibilidade cromática de forma mais frequente durante o desenvolvimento de jogos e as dificuldades envolvidas na realização de teste com jogadores com daltonismo, surge a oportunidade de explorar o uso de simulações de daltonismo

na criação de jogos cromaticamente acessíveis e como minimizar suas limitações em um uso combinado com a participação de jogadores com daltonismo. Essa combinação pode trazer vantagens como a diminuição de custos e a inserção da discussão de acessibilidade mesmo em equipes compostas por desenvolvedores com pouca experiência e sem especialistas em acessibilidade. Isso é especialmente relevante no mercado brasileiro de jogos que, apesar do relativo crescimento nos últimos anos (SAKUDA; FORTIM, 2018), ainda não apresenta uma visão madura sobre a consideração de fatores humanos como um aspecto crítico da criação de jogos (AMÉLIO, 2018). Dessa forma, é importante uma maior aproximação entre academia e indústria (DARIN *et al.*, 2023), sendo esse o Desafio 1, elencado nos Grandes Desafios da Pesquisa em Jogos e Computação de Entretenimento no Brasil para os próximos 10 anos.

Neste contexto, esta pesquisa aborda o seguinte problema: *Como simulações de daltonismo podem ser integradas ao processo de desenvolvimento de jogos para dispositivos móveis desde etapas iniciais, em combinação com a participação de jogadores com daltonismo, para que profissionais, mesmo com pouca experiência em acessibilidade e Interação Humano-Computador (IHC), possam identificar e solucionar problemas de acessibilidade cromática.*

1.1 Questões de pesquisa

A partir desse problema, esta pesquisa busca responder às seguintes perguntas:

- (QP1) Quais são as ferramentas disponibilizadas pela academia e pela indústria para a criação de jogos cromaticamente acessíveis?
- (QP2) Simulações de daltonismo são suficientes para que profissionais, mesmo com pouca experiência, consigam identificar problemas de acessibilidade cromática?
- (QP3) Quais tipos de problemas são mais difíceis de serem identificados apenas com o uso de simulações de daltonismo em jogos para dispositivos móveis?
- (QP4) O uso de simulações pode conscientizar desenvolvedores sobre a acessibilidade cromática e a sua importância?

1.2 Objetivos

Assim, o presente estudo teve como objetivo investigar como simulações de daltonismo podem ser usadas em processos de desenvolvimento de jogos de forma a criar produtos mais acessíveis cromaticamente sem tirar o foco das necessidades dos jogadores com daltonismo.

Para alcançar este objetivo, os seguintes objetivos específicos foram delineados:

1. (OE1) Investigar ferramentas utilizadas para a criação de jogos cromaticamente acessíveis para dispositivos móveis.
2. (OE2) Verificar a relação entre problemas de acessibilidade cromática identificados por desenvolvedores utilizando simulações e por pessoas com daltonismo em jogos para dispositivos móveis.
3. (OE3) Identificar oportunidades e limitações do uso de simulações de daltonismo na identificação problemas de acessibilidade cromática em processos de desenvolvimento de jogos para dispositivos móveis.
4. (OE4) Informar designers e desenvolvedores de jogos sobre os potenciais e limitações do uso de simulações de daltonismo no processo de desenvolvimento de jogos cromaticamente acessíveis.

1.3 Metodologia resumida

Este estudo é uma pesquisa aplicada e empírica que emprega uma abordagem de métodos mistos, integrando elementos de pesquisa descritiva e experimental para atingir os objetivos estabelecidos. A metodologia aplicada foi dividida em 4 etapas. Na Etapa 1, foi realizada uma revisão da literatura para identificar ferramentas e diferentes possibilidades para a criação de jogos cromaticamente acessíveis, visando atingir OE1. Ainda relacionado a OE1, na Etapa 2, foi realizado um experimento *within subjects* com diferentes modalidades de simulação de daltonismo em contexto real de criação de um jogo para *smartphones*. Através do contato com profissionais da indústria de jogos, esse experimento também contribuiu para atingir OE3. Em paralelo, foi realizado um estudo comparativo das orientações sobre acessibilidade cromática presente em conjuntos populares de *guidelines* de acessibilidade para jogos. Na etapa 3, visando OE2 e OE3, foram conduzidos 2 estudos empíricos *between subjects* para investigar como diferentes tipos de problemas de acessibilidade cromática podem ser identificados por desenvolvedores com visão de cores típica usando simulação de daltonismo em comparação com jogadores com daltonismo. Primeiro explorou-se a identificação problemas encontrados no *gameplay* de um protótipo de jogo criado para o experimento e, em seguida, as diferenças e similaridades na interpretação de significados de cores em jogos. Posteriormente, os resultados dos estudos foram analisados e triangulados com os resultados das etapas anteriores. Por fim, para atingir OE4, o conhecimento gerado por todos os passos desta pesquisa foi sintetizado

em recomendações (Etapa 4) para auxiliar desenvolvedores no uso das diferentes ferramentas exploradas para a criação de jogos cromaticamente acessíveis. Esta etapa também contou com uma avaliação com profissionais realizada para aprimorar as recomendações.

Figura 1 – Resumo das etapas da metodologia



Fonte: elaborado pelo autor.

Todas as etapas que contaram com a participação de pessoas foram realizadas observando os aspectos éticos. Este trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética de Pesquisa (CEP-UFC) sob o CAAE 58290822.9.0000.5054. Os materiais complementares relacionados a esta pesquisa estão disponíveis em https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1k3FdGs_5AT98Mft91Dj793faxeJo_Sdz.

Como contribuição, este trabalho oferece evidências empíricas que possibilitam o uso informado da combinação do uso de simulações de daltonismo e da participação de usuários com daltonismo na criação de jogos cromaticamente acessíveis para dispositivos móveis. Essas evidências foram sistematizadas em 9 recomendações, que indicam as melhores abordagens para diferentes tipos de problemas de acessibilidade cromática e as possibilidades de uso das ferramentas de simulação em diferentes estágios do processo de desenvolvimento de jogos. Além disso, foi discutido também como o uso de simulações pode servir como introdução do critério de acessibilidade em equipes que não possuem experiência com o assunto. Com isso, busca-se contribuir com a discussão de acessibilidade cromática de uma forma prática, alinhada com as necessidades atuais da indústria de jogos (VAUDOUR; HEINZE, 2020; KULIK *et al.*, 2021) e com um dos Grandes Desafios da Pesquisa em Jogos e Computação de Entretenimento no Brasil para os próximos 10 anos, relacionado à avaliação da interação de jogadores com jogos digitais

(DARIN *et al.*, 2023).

2 ETAPA 1: REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta a revisão da literatura bem como os trabalhos relacionados a esta pesquisa. A Seção 2.1 descreve a metodologia utilizada nesta fase do estudo. Em seguida, os resultados são apresentados em 5 partes. A Seção 2.2 apresenta uma visão geral sobre a acessibilidade, detalhando como se aplica a indivíduos com Deficiência na Visão de Cores (DVC), listando algumas possibilidades para a inclusão dessas pessoas (Subseção 2.2.1). A Seção 2.3 discorre, de forma mais específica, sobre a acessibilidade cromática no âmbito dos jogos digitais. A Seção 2.3.1 aprofunda estratégias que podem ser utilizadas no processo de criação de jogos acessíveis para pessoas com DVC, detalhando sobre a utilização de simulações de daltonismo no no processo de design e desenvolvimento de jogos (Subseção 2.3.2). A Seção 2.4 apresenta alguns trabalhos relacionados a esta pesquisa. Por fim, a Seção 2.5 conclui o capítulo, comparando perspectivas de criação de jogos cromaticamente acessíveis e discutindo a lacuna de pesquisa investigada neste trabalho.

2.1 Metodologia

O primeiro passo para a realização desse estudo foi a condução de uma revisão da literatura, contribuindo para os objetivos específicos OE1 e OE2. A princípio, foram explorados os temas mais gerais de acessibilidade, além de pesquisas sobre cores em jogos, acessibilidade para jogadores daltônicos e simulações de daltonismo. Esta pesquisa exploratória inicial foi realizada com o *Google Scholar*.

Posteriormente, no segundo semestre de 2021, para detalhar os conhecimentos acerca do uso de cores em jogos, foi realizada uma nova busca mais detalhada utilizando termos identificados nas pesquisas iniciais. Para isso, foi utilizada a seguinte *string* de busca:

Código-fonte 1 – String de busca utilizada

```
1      ( game OR games OR "video games" OR "video game" )
      AND ( daltonism OR "color blindness" OR "color
      blind" OR "colour blind" OR "color vision" OR "
      color vision deficiency" )
```

A busca foi realizada em 3 bases, sendo a primeira uma base específica da área de

Computação e as outras duas mais gerais. O número de artigos encontrados foi: a) *ACM Digital Library* (579 resultados); b) *Scopus* (133 resultados); c) *Web of Science* (53 resultados). Um total de 745 artigos foi identificado neste processo de busca.

Os resultados foram importados para a plataforma *Zotero*¹. Primeiro, foram eliminados os documentos repetidos. Em seguida, todos os títulos e resumos foram analisados buscando remover resultados que não fossem artigos, documentos que não estivessem em português, espanhol ou inglês, e resultados que não tratassem do assunto almejado para a revisão.

Os critérios de inclusão utilizados foram: o artigo trata sobre jogos **E** sobre cores **OU** sobre acessibilidade **OU** sobre daltonismo. Já os critérios de exclusão foram: o artigo não trata sobre jogos **OU** não trata sobre daltonismo.

Ao final do processo, **74** artigos foram lidos integralmente e categorizados por tópicos relevantes para a contextualização do presente estudo.

2.2 Acessibilidade

Acessibilidade tem definições que podem variar de acordo com a área (ex:arquitetura, design de produto) ou da abordagem utilizada no projeto de um produto (PERSSON *et al.*, 2015). No contexto de IHC, acessibilidade se refere – de maneira geral – a quanto um produto interativo pode ser utilizado pela maior quantidade de pessoas possível, independentemente das suas características (ROGERS *et al.*, 2023). Persson *et al.* (2015), após estudo de diversas abordagens e contextos históricos, define acessibilidade como a medida em que produtos, sistemas, serviços, ambientes e instalações são capazes de serem usados por uma população com a mais ampla gama de características e capacidades (por exemplo, físicas, cognitivas, financeiro, social e cultural, etc.), para atingir uma determinada meta em um contexto específico. Esse acesso igualitário é requisito assegurado por lei em diversos países, incluindo o Brasil (BRASIL, 2015). Apesar de ter começado como um tópico de nicho, a área de acessibilidade evoluiu para um ponto crítico tanto para a indústria quanto para a academia, possuindo periódicos e conferências dedicadas - como a conferência ASSETS, fundada em 1994 - e forte participação em periódicos e conferências da comunidade de IHC (MACK *et al.*, 2021). As pesquisas dessa área focam na inclusão visando acesso e equiparação de oportunidades. Para isso, é importante que haja remoção de barreiras, definidas pela lei supracitada como "qualquer entrave, obstáculo, atitude ou comportamento que limite ou impeça a participação social da pessoa, bem como o gozo, a

¹ <https://www.zotero.org/>

fruição e o exercício de seus direitos à acessibilidade, à liberdade de movimento e de expressão, à comunicação, ao acesso à informação, à compreensão, à circulação com segurança, entre outros"(BRASIL, 2015). Dentre essas barreiras, então as barreiras tecnológicas, que dificultam ou impedem o acesso da pessoa com deficiência às tecnologias.

Levantam-se duas estratégias de design igualmente importantes para a criação de sistemas acessíveis (SHARP *et al.*, 2019; BROPHY; CRAVEN, 2007). A primeira é a criação de tecnologias assistivas como os leitores de tela que possibilitam que pessoas com deficiências visuais possam utilizar diversas aplicações digitais. Entretanto, é necessário que as aplicações sejam desenvolvidas de forma a acomodar usuários com deficiência e os diferentes tipos de tecnologias assistivas. Por outro lado, a segunda perspectiva busca criar produtos que já considerem em seu projeto características para incluir pessoas com diferentes tipos de necessidades. Nessa perspectiva, duas das principais abordagens são o (STORY, 1998) e o Design Inclusivo (BENYON, 2019) e, por mais que os termos muitas vezes sejam utilizados de forma indistinta, as duas abordagens têm diferenças sutis, porém profundas (GOTO, 2019).

Design universal, que surgiu na arquitetura, busca a criação de produtos universalmente acessíveis de forma natural e menos perceptiva (STORY, 1998). Os princípios dessa abordagem enfatizam a criação de qualquer produto para ser usável por todos, independentemente de idade ou habilidades (STORY, 2001). Assim, por mais que certas características de um produto sejam pensadas para atender às necessidades de um certo perfil de PCD, elas ainda podem melhorar a experiência de usuários em geral (e.g.: um bom contraste entre as cores de uma interface facilita o uso em ambientes com iluminação intensa). Para isso, pesquisadores advogam por processos transdisciplinares e mais colaborativos (FUCHS; OBRIST, 2010).

Por outro lado, de forma mais pragmática, a perspectiva do Design Inclusivo (BENYON, 2019) argumenta que comumente existirão barreiras (e.g. orçamento, capacidade técnica) que impossibilitarão a inclusão completa. Dessa forma, é importante analisar como a exclusão pode ser minimizada e identificar características comuns que a causam e que podem ser evitadas. Assim, essa abordagem busca criar um produto que inclua grupos específicos de usuários, com necessidades específicas (GOTO, 2019), focando nos "extremos" e não na média (HOLMES, 2020).

Em resumo, a principal diferença entre as duas abordagens é que, enquanto o busca criar uma solução que sirva para todos, o Design Inclusivo acredita que, para um grupo tão diverso de usuários, é importante que existam soluções mais específicas para diferentes tipos de

necessidades. Esta dissertação trabalha principalmente com a abordagem do Design Inclusivo.

2.2.1 Acessibilidade para indivíduos com deficiência na visão de cores

A visão de cor humana típica é tricromática, sendo composta por três cores primárias: azul, verde e vermelho. Cada uma dessas cores é percebida por diferentes células especializadas da retina, os cones fotorreceptores, que juntos geram os sinais neurais que são enviados ao cérebro para formar as imagens enxergadas. O daltonismo acontece quando um ou mais tipos de cones apresentam problemas em seus pigmentos fotossensíveis, fazendo com que uma ou mais das cores primárias da visão sejam afetadas. Apesar de ter diversas possíveis causas (e.g.: uso de medicamentos, acidentes, envelhecimento), a deficiência na percepção de cores é muitas vezes relacionada a fatores genéticos, afetando primordialmente pessoas do sexo masculino (SIMUNOVIC, 2010).

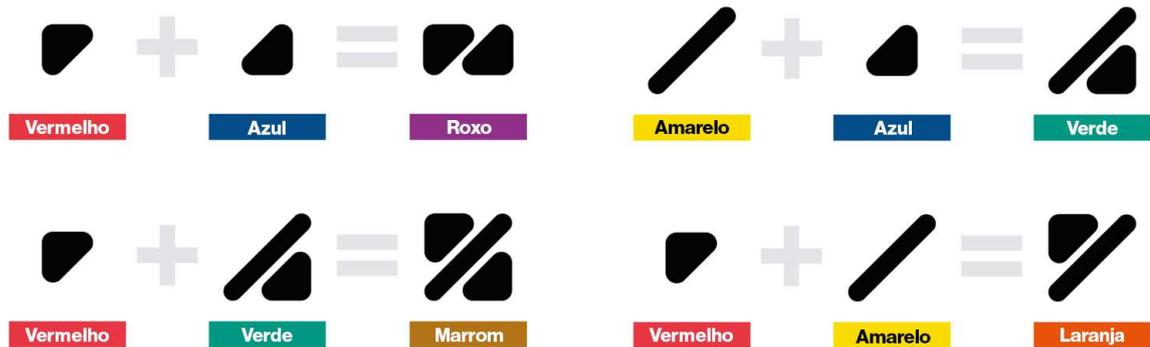
O daltonismo se apresenta em diversos graus de severidade. Em seu nível mais severo, denominado monocromacia, as alterações nos cones fazem com que as cores não possam ser percebidas pelo olho humano. Entretanto, a maioria dos daltônicos apresenta deficiência em apenas um dos tipos de cones. O cone afetado pode ser apenas parcialmente comprometido (tricromacia anômala), dificultando a identificação de certas cores e tons. É possível também a ocorrência de dicromacia, em que as pessoas possuem apenas 2 cores primárias para formar todas as cores da visão. A dicromacia é subdividida em: protanopia (ausência de cones vermelhos funcionais), deuteranopia (ausência de cones verdes funcionais) e tritanopia (ausência de cones azuis funcionais) (CONSORTIUM *et al.*, 2019).

Dentre os desafios enfrentados por pessoas daltônicas está o uso de interfaces digitais devido à utilização extensiva de cores que representam exclusivamente certas funções da interface, *affordances* e *feedbacks*. Como formas de mitigar tais desafios, existem muitos recursos que podem auxiliar os designers e desenvolvedores na criação de aplicações mais acessíveis. Por exemplo, as *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG) oferecem uma lista de requisitos de acessibilidade focadas nas plataformas *web* e *mobile* e critérios de sucesso detalhados, além de diversas ferramentas que dão suporte aos critérios estabelecidos. O desenvolvimento de recomendações e metodologias para contextos específicos também é comum na literatura. Martínez *et al.* (2021), por exemplo, criaram uma metodologia de avaliações heurísticas de acessibilidade para pessoas com baixa visão e daltonismo para gráficos estatísticos digitais.

Também existem pesquisas focando em estratégias de design visual que auxiliam na

criação de interfaces mais acessíveis. Wu *et al.* (2019) desenvolveram e avaliaram um conjunto de texturas que podem ser usadas para auxiliar usuários com daltonismo a diferenciar e identificar cores em interfaces. Um outro exemplo é o sistema de identificação de cores ColorADD (NEIVA, 2016) que utiliza uma linguagem iconográfica para codificar as cores primárias (vermelho, branco e azul acompanhadas de branco e preto) e as suas combinações de forma lógica (Figura 2).

Figura 2 – Demonstração da codificação de cores de ColorADD



Fonte: ColorADD (traduzido pelo autor).

Outra perspectiva presente na literatura é o desenvolvimento de filtros que tentam corrigir ou diminuir os problemas de acessibilidade cromática de uma interface de forma automática. Bonacin *et al.* (2021) desenvolveram um *framework* que modifica as cores originais de uma imagem para gerar uma visualização otimizada para cada tipo de daltonismo, considerando também as preferências de cada usuário. Utilizando um outro paradigma de interação, Tanuwidjaja *et al.* (2014) criaram uma solução em realidade aumentada para o Google Glass. Ela oferece, entre outras funcionalidades, filtros que alteram as cores da imagem real para que o daltônico possa identificar elementos de cores que ele não enxergaria normalmente. Essas aplicações permitem uma melhora na identificação de cores por pessoas com daltonismo, entretanto, elas não estão disponíveis facilmente e muitas vezes utilizando dispositivos específicos e caros. Além disso, os usuários precisam ter conhecimento da sua deficiência visual, o que nem sempre é o caso das pessoas com daltonismo.

Por mais que essas estratégias sejam importantes, o desenvolvimento de diferentes produtos apresenta diferentes necessidades e desafios. Por isso, é importante garantir, sempre que possível, a participação de usuários. Adicionalmente, é importante que as equipes de desenvolvimento estejam familiarizadas com variadas estratégias de acessibilidade, para que os recursos necessários sejam incorporados durante o processo de desenvolvimento, e não como uma adaptação da interface após finalizada.

2.3 Acessibilidade para jogadores com deficiência na visão de cores

Jogos são desafiadores por natureza, contudo é importante que o nível de desafio seja equivalente para todos os jogadores, oferecendo Experiências de Jogador Acessíveis (*Accessible Player Experiences - APX*) (POWER *et al.*, 2018; CAIRNS *et al.*, 2019). Dessa forma, o daltonismo pode ser um fator limitante, em especial nos jogos digitais que dependem dos sentidos, especialmente da visão (GRAMMENOS *et al.*, 2009). Tanuwidjaja *et al.* (2014) entrevistaram 23 pessoas daltônicas sobre suas rotinas e os jogos foram uma das atividades mais citadas como desafiadoras. Os participantes concordaram que a experiência fica comprometida devido à dificuldade de identificar as cores, desde casos mais simples (e.g.: elementos de cenário, roupas dos personagens), até casos em que são componentes cruciais da mecânica principal do jogo (e.g.: diferenciação de times, agrupamento de blocos através de cores).

Além disso, a literatura mostra a influência das cores no desempenho dos jogadores e na percepção desse desempenho em jogos. Wolfson e Case (2000) estudaram o impacto das cores vermelho e azul na performance e nas emoções experienciadas pelos jogadores. Enquanto a cor vermelha proporcionou uma reação mais explosiva, com um pico na performance no início do *gameplay*, a cor azul proporcionou um aumento gradual no desempenho, porém com efeito mais duradouro. Adicionalmente, Napoli e Chiasson (2018) desenvolveram um experimento com jogadores para explorar o impacto do daltonismo no seu desempenho em um jogo casual. O estudo foi conduzido com 12 participantes (apenas 1 era daltônico) que jogaram um jogo com a mecânica baseada em cores e depois repetiram a jogatina utilizando uma simulação de daltonismo. Não foram percebidas diferenças significativas no desempenho dos jogadores, provavelmente devido ao bom uso de formas geométricas pela interface do jogo como alternativa para o reconhecimento das peças além das cores. Entretanto, por mais que o desempenho tenha sido parecido, os jogadores afirmaram ter sentido que o seu desempenho caiu ao utilizar a simulação.

Cores impactam diretamente nas emoções de usuários, e isso é especialmente importante no contexto de jogos, visto que experienciar emoções tende a ser a principal razão pela qual as pessoas jogam *video games* (RAVAJA *et al.*, 2004). Assim, cores vêm sendo estudadas e aplicadas para influenciar as emoções dos jogadores (JOOSTEN *et al.*, 2012), aumentar a sensação de imersão (ROOHI; FOROUZANDEH, 2019) e até para desenvolver personagens com maior qualidade afetiva em jogos educacionais (PLASS *et al.*, 2020).

No que diz respeito à indústria, a acessibilidade de cores é um dos aspectos mais

comumente discutidos por desenvolvedores e incorporados em jogos. Porter e Kientz (2013) conduziram análises de jogos *mainstream*, *survey* com jogadores com deficiências e entrevistas com desenvolvedores de jogos. Entre os resultados, os autores destacam que ações mais simples como o uso de paletas de cores adaptadas para daltônicos e inclusão de legendas tendem a ser priorizadas em relação a outras opções de acessibilidade. Entretanto, nem sempre essas ações simples são suficientes para oferecer uma boa experiência acessível. Os participantes destacaram que uma perspectiva mais detalhada muitas vezes acontece apenas porque alguém da equipe ou próximo dela possui alguma deficiência, destacando que nem sempre os desenvolvedores tem a dimensão do impacto das deficiências em seus jogos e da importância de criar um jogo verdadeiramente acessível. Assim, existe a necessidade de explorar como fornecer essas perspectivas mais detalhadas com os recursos disponíveis.

Figura 3 – Comparação de duas versões de fase do jogo Link's Awakening

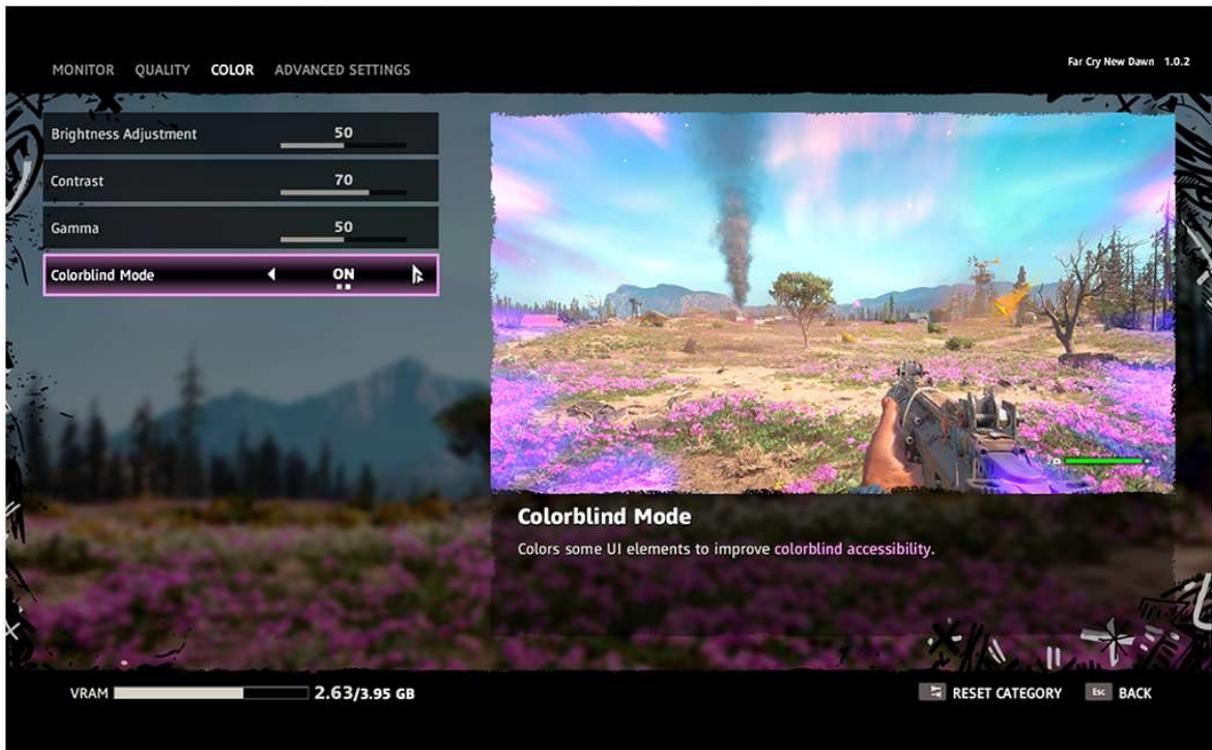


Fonte: elaborado pelo autor.

Em busca de um panorama atual da acessibilidade em *video games*, Brown e Anderson (2020) avaliaram os 50 jogos mais proeminentes - baseado em critérios como quantidade de vendas, avaliação da crítica e premiações - lançados em 2019. O estudo mostra um panorama parecido com o apresentado por Porter e Kientz (2013): muitos jogos apresentam soluções criativas para aumentar a acessibilidade para pessoas daltônicas, como o uso de outros elementos visuais (e.g.: forma, textura) para diferenciar cores ou a mudança de cores específicas dentro da interface para facilitar a visualização de elementos importantes. O *remake* do jogo *The Legend of Zelda: Link's Awakening* (Figura 3), por exemplo, traz diferentes padrões geométricos nas áreas de cores diferentes para ajudar na identificação. Outro exemplo é o modo de daltonismo do jogo *Far Cry New Dawn* (Figura 4) que modifica a cor dos elementos principais do jogo para

rosa e amarelo, mantendo uma estética agradável e ajudando na visualização desses elementos. Entretanto, foi observada uma tendência para que essas soluções sejam tratadas como funções separadas, que precisam ser acionadas em um menu de configurações (como no jogo *Far Cry New Dawn*), o que pode prejudicar a experiência de jogadores com daltonismo leve que não tem conhecimento da sua condição. Adicionalmente, existem jogos que utilizam filtros de tela ultrapassados, atrapalhando também a experiência estética do jogo. Os autores apontam para a necessidade de garantir que pelo menos os elementos essenciais para o *gameplay* sejam visíveis para daltônicos. É importante destacar que os jogos avaliados são, em sua maioria, projetos com grande orçamento e que o mesmo cenário pode não ser aplicável aos mercados independente e *mobile*.

Figura 4 – Modo para jogadores daltônicos do jogo Far Cry New Dawn



Fonte: elaborado pelo autor.

2.3.1 Estratégias para a criação de jogos cromaticamente acessíveis

Existem duas perspectivas mais comuns para a avaliação de acessibilidade em jogos: a participação de jogadores e a inspeção através de heurísticas ou *guidelines* (FORTES *et al.*, 2017). De forma parecida, essas duas perspectivas podem ser utilizadas em outras etapas do desenvolvimento de jogos.

A participação de usuários é importante para o desenvolvimento de qualquer aplicação (LAZAR *et al.*, 2017). Metodologias de design participativo (WANICK; BITELO, 2020) podem ser aplicadas para que jogadores com daltonismo estejam envolvidos desde etapas iniciais do processo de desenvolvimento. Processos que incluem a comunidade de jogadores podem trazer resultados muito ricos, visto que os jogadores com daltonismo podem contribuir não só avaliando o jogo desenvolvido, mas também criando soluções para os problemas identificados (PLOTHE, 2018). O trabalho de López e Medina (2021) busca sistematizar melhor esse tipo de processo de forma específica para as necessidades de jogadores com daltonismo. Entretanto, envolver jogadores com daltonismo e especialistas em acessibilidade de forma tão intensa no processo também traz altos custos e desafios, que muitas vezes inviabilizam esse tipo de processo, especialmente em estúdios menores (KULIK *et al.*, 2021).

Uma das alternativas mais comumente apresentadas na literatura é a utilização de *guidelines* de acessibilidade para a criação de jogos acessíveis. Conjuntos de *guidelines* de acessibilidade mais gerais (e.g.: WCAG 3.0) são úteis, entretanto, já foram desenvolvidos diversos conjuntos que focam especificamente no desenvolvimento e na avaliação de jogos (FORTES *et al.*, 2017; ARAÚJO *et al.*, 2015; WESTIN *et al.*, 2018). Alguns exemplos são:

- *Game Accessibility Guidelines Top Ten - IGDA-GASIG (Game Accessibility Special Interest Group)*²
- *A Practical Guide to Game Accessibility (Includification) - The AbleGames Foundation*³
- *Accessible Player Experiences - The AbleGames Foundation*⁴
- *Game Accessibility Guidelines*⁵
- *Xbox Accessibility Guidelines*⁶

Avaliações com *guidelines* de jogos são comumente utilizadas em trabalhos encontrados na literatura (FORTES *et al.*, 2017) e também no contexto da indústria de jogos (KULIK *et al.*, 2021). Entretanto, é importante ressaltar que, apesar das vantagens (e.g.: baixo custo e rapidez na aplicação), o uso adequado desse recurso exige um bom conhecimento de acessibilidade e das *guidelines* e, ainda assim, precisa ser complementado com a participação de usuários para que não sejam gerados resultados estereotipados e que não resolvem os problemas reais (POWER *et al.*, 2012).

² Disponível em: <https://igda-gasig.org/how/sig-top-ten/>

³ Disponível em: <https://accessible.games/includification/>

⁴ Disponível em: <https://accessible.games/accessible-player-experiences/>

⁵ Disponível em: <https://gameaccessibilityguidelines.com/>

⁶ Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/gaming/accessibility/guidelines>

2.3.2 Simulações de daltonismo no design e desenvolvimento de jogos

O daltonismo é uma deficiência visual discutida em diversos conjuntos de *guidelines* de acessibilidade, entretanto, a percepção de cores por pessoas daltônicas é muitas vezes uma ideia abstrata para pessoas com visão típica. A partir dessa motivação, existem muitos exemplos de programas que simulam os tipos de daltonismo (LI; FLATLA, 2019). Essas simulações vêm sendo utilizadas como ferramentas para auxiliar o processo de design de interfaces mais acessíveis, incluindo as de jogos. Simulações dos tipos mais comuns de daltonismo estão disponíveis nos principais programas utilizados na indústria para criar protótipos de interfaces, como o Adobe XD, o Adobe Photoshop e o Figma.

Esse tipo de simulação, que auxilia o trabalho na plataforma *desktop*, é comum. Por exemplo, Silva *et al.* (2017) levantaram e analisaram 29 simuladores gratuitos de daltonismo em 4 diferentes perspectivas: de imagem, de tela, de *sites web* e via câmera de *smartphone*. Contudo, o estudo foca no uso das simulações na plataforma *desktop* e não abrange o uso das ferramentas para simulação de daltonismo em dispositivos móveis, que seria possível com as que funcionam via câmera de *smartphone*. Uma estratégia comum para avaliar acessibilidade nesse tipo de aplicação é o uso de ferramentas que identificam problemas automaticamente (e.g. *Google Accessibility Scanner*) (SILVA *et al.*, 2018). Entretanto, utilizar essas ferramentas muitas vezes não é possível em jogos *mobile* por suas interfaces serem construídas com bibliotecas gráficas como *Open GL*⁷ e *Unity*⁸ ao invés de usar elementos de interface nativos dos sistemas operacionais (ALSHAYBAN *et al.*, 2020). A partir da versão *Lollipop*, o sistema operacional *Android* começou a disponibilizar simulações de daltonismo diretamente na tela dos dispositivos através da opção "*Simulate color space*". Entretanto, essa ferramenta fica disponível apenas nas opções de desenvolvedor, dificultando o seu uso.

A partir da necessidade de utilizar simulações em diferentes dispositivos, houve um crescente interesse na criação de ferramentas de simulação imersivas, que possam ser utilizadas para a avaliação de interfaces *mobile*. Choo *et al.* (2019) desenvolveram a ferramenta em realidade virtual *Empath-D* e conduziram uma avaliação do seu uso no aprimoramento de interfaces móveis para usuários com catarata. Ates *et al.* (2015), por sua vez, desenvolveram a ferramenta de simulação de doenças oculares em realidade aumentada chamada *Simviz*. A ferramenta utiliza o equipamento *Oculus Rift*⁹ e simula sintomas de diversas deficiências

⁷ Mais informações em: <https://www.opengl.org/>

⁸ Mais informações em: <https://www.unity.com/>

⁹ Mais informações em: <https://www.oculus.com/>

visuais, incluindo o daltonismo. Por mais que essas ferramentas mostrem resultados promissores, os equipamentos utilizados ainda têm custo elevado e os *softwares* desenvolvidos não estão facilmente disponíveis para o uso por equipes de desenvolvimento.

Em contrapartida, existem iniciativas que diminuem os custos desse tipo de simulação. O Simulador de Doença Oculares (SDO) (SÁ *et al.*, 2020) oferece simulação de diversas deficiências na visão, incluindo o daltonismo, no paradigma de realidade aumentada. Ela usa a câmera de um celular que é acoplado ao rosto do usuário com um óculos de realidade virtual e aumentada compatível com o *Google Cardboard*¹⁰ (Figura 7). Com a aplicação executando, os filtros são aplicados à imagem captada pela câmera e o usuário pode selecionar o filtro desejado com a ajuda de um controle *Bluetooth*¹¹.

Ressalta-se que o uso de simulações não é suficiente para identificar e resolver todos os problemas que impeçam a garantia da acessibilidade. O uso inadequado de simulações pode, inclusive, ser prejudicial para a percepção dos desenvolvedores sobre pessoas com deficiência (BENNETT; ROSNER, 2019). O Uso de *guidelines* de forma isolada, tampouco, é uma solução viável (POWER *et al.*, 2012). Assim, advoga-se pelo uso desses recursos como guias, sem excluir a participação ativa de usuários com deficiência no desenvolvimento de jogos mais acessíveis (ZIMMERMANN; VANDERHEIDEN, 2008).

2.4 Trabalhos relacionados

Até o momento da conclusão deste trabalho, não foram encontrados trabalhos centrados no uso de simulações de daltonismo como ferramentas para a criação de jogos cromaticamente acessíveis. Por esse motivo, esta Seção apresenta trabalhos relacionados que realizaram atividades similares às atividades realizadas em etapas desta pesquisa: criação de jogos cromaticamente acessíveis e uso de simulações, não apenas de daltonismo, como ferramentas para identificação de problemas. Eles foram reunidos visando ilustrar a necessidade de exploração desse tipo de ferramenta considerando suas limitações.

2.4.1 Trabalhos que exploram a criação de jogos cromaticamente acessíveis

O desenvolvimento ou adaptação de jogos visando a acessibilidade para pessoas com deficiência na visão de cores foi relatado por diversos trabalhos presentes na literatura. Ramos

¹⁰ Mais informações em <https://arvr.google.com/cardboard/>

¹¹ Vídeo demonstrativo: https://drive.google.com/file/d/16tyOynL_FEi4ftAu_biSX57DOxtAAhn6/view

(2019), por exemplo, apresenta uma proposta de adaptação na mecânica baseada em cores do jogo *Nihilumbra*. Através de um estudo de *guidelines* para acessibilidade em jogos, testes com jogadores com daltonismo e testes com simulações de daltonismo, foi criado um sistema de símbolos para transmitir a informação que antes era comunicada apenas através das cores. O trabalho também discute as dificuldades e limitações que surgem ao adaptar um jogo finalizado. Por outro lado, Plothe (2018) relata e analisa a criação do jogo *HUE* (do inglês, "Matiz") que, através de um processo colaborativo baseado nos princípios do , considerou a acessibilidade cromática desde suas fases iniciais. O autor destaca a riqueza do processo colaborativo, visto que os primeiros problemas de acessibilidade cromática foram identificados através de testes com jogadores em protótipos iniciais e a solução para esses problemas também foram desenvolvidas em parceria com a comunidade de jogadores com daltonismo.

É importante destacar também que a inserção de opções de acessibilidade cromática em um jogo pode ser superficial e até mesmo equivocada. Flores-Garzón *et al.* (2020), por exemplo, relatam a criação de um jogo acessível chamado "*Catch the thief*" focando em deficiências visuais e auditivas. Os autores oferecem recursos variados de acessibilidade, entretanto, na opção de daltonismo, foi inserida uma simulação de daltonismo (através do *plug in Colorblind Effect* para a plataforma *Unity*) como se fosse um filtro corretivo.

López e Medina (2021) propõem uma metodologia, baseada na perspectiva do , para desenvolver jogos que acomodem os usuários daltônicos. Para tanto, os autores indicam técnicas e instrumentos a serem utilizados em um processo de desenvolvimento dividido em 5 etapas: (1) análise, (2) projeto conceitual, (3) projeto e desenvolvimento de protótipos, (4) avaliação e testes e (5) proposição de melhorias. O processo considera a participação de especialistas em daltonismo e usuários daltônicos em todas as etapas. Essa perspectiva de design participativo é uma das alternativas mais completas para a implementação de acessibilidade em jogos, porém, além do alto custo dessa alternativa, também existem desafios no recrutamento de usuários com deficiência, ainda mais no caso do daltonismo, que possui diversos tipos e gradações (LAZAR *et al.*, 2017). Esses desafios podem dificultar a aplicação dessas metodologias em pequenos estúdios com equipe e orçamentos limitados. Além disso, a proposta ainda precisa ser validada.

2.4.2 Trabalhos que exploram o uso de simulações como ferramentas para identificação de problemas de acessibilidade

O uso de simulações de daltonismo como ferramentas para identificar problemas de acessibilidade em interfaces foi pouco explorado na literatura. Apesar de existir uma grande quantidade de trabalhos reportando a criação de simuladores (ATES *et al.*, 2015; FLATLA; GUTWIN, 2012; LEE; SANTOS, 2011), faltam trabalhos que explorem o uso dessas ferramentas em contextos reais e busquem identificar de forma clara as oportunidades que elas proporcionam e suas limitações. Aytac *et al.* (2018), por exemplo, descrevem o uso de simulações de daltonismo no desenvolvimento de uma interface complexa para uma sala de controle. Apesar dos resultados positivos apresentados pelo autor, o processo não é detalhado de forma clara, dificultando a reprodutibilidade.

Aumentando o escopo e considerando outros tipos de deficiências além do daltonismo, foi percebido que o uso de simulações como ferramenta de avaliação de acessibilidade não é um assunto novo. Mankoff *et al.* (2005) construíram um simulador de deficiências motoras e visuais, incluindo o daltonismo, com esse intuito. Um aspecto relevante da ferramenta proposta é que o simulador funciona na plataforma *desktop* a nível de sistema operacional, funcionando para todos os tipos de aplicações que possam ser desenvolvidas na plataforma. Apesar do grande potencial, os autores não avaliaram o uso da aplicação na identificação de problemas de acessibilidade e no aprimoramento de interfaces gráficas.

Em uma perspectiva parecida de independência da simulação em relação à plataforma, Choo *et al.* (2019) conduziram uma avaliação do uso do simulador em "virtualidade aumentada" *Empath-D* (KIM *et al.*, 2018) no aprimoramento de interfaces móveis para pessoas com catarata. O estudo contou com a participação de 4 pessoas com catarata e 10 desenvolvedores, buscando comparar o uso da ferramenta de simulação com o uso de uma ferramenta automatizada de identificação de problemas de acessibilidade (*Google Accessibility Scanner*) no *redesign* de uma tela do aplicativo *Instagram*. Os resultados mostram que o uso da simulação em combinação com as *guidelines* WCAG 2.0 fez com que os desenvolvedores pudessem identificar de forma mais correta os desafios de usabilidade enfrentados pelas pessoas com catarata e fizessem mais mudanças positivas no design da aplicação testada em comparação com os participantes que utilizaram a ferramenta automatizada.

2.5 Considerações finais

Neste capítulo, tópicos importantes para a construção e o entendimento deste trabalho foram discutidos: a acessibilidade digital, a acessibilidade para indivíduos com deficiência na visão de cores e a acessibilidade cromática em jogos. Além disso, foram discutidas estratégias utilizadas na academia e na indústria para a criação de jogos cromaticamente acessíveis, como resumido na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo de metodologias utilizadas para a criação e avaliação de jogos cromaticamente acessíveis

| | Prós | Contras |
|--|--|--|
| Participação de jogador com DVC | Processo rico e comumente indicado pela literatura (a) | Alto custo e exige profissionais especialistas (b) |
| Inspeção com <i>guidelines</i> | Baixo custo, fácil acesso e aplicação rápida | Podem deixar a acessibilidade superficial quando usadas isoladamente (c) |
| Simulações de daltonismo | Baixo custo, fácil acesso e aplicação rápida | Podem induzir percepções incorretas (d) |

Fonte: elaborado pelo autor. (a) Lazar *et al.* (2017); (b) López e Medina (2021); (c) Power *et al.* (2012); (d) Bennett e Rosner (2019)

Também foram apresentados trabalhos relacionados a esta pesquisa. Primeiramente, foram discutidos trabalhos que tratam da criação de jogos cromaticamente acessíveis. Em seguida, foram discutidos trabalhos que exploram o uso de simulações como ferramentas para identificação de problemas de acessibilidade. Devido a falta de trabalhos específicos sobre simulações de daltonismo, foi explorado também o uso de simulações de outras deficiências visuais em atividades similares às propostas nesta pesquisa.

Por fim, este capítulo reforça a lacuna de pesquisa explorada por este trabalho. Simulações de daltonismo são utilizadas no processo de design de jogos apesar dos riscos levantados pela literatura. Assim, se faz necessário explorar mais detalhadamente esse uso para potencializar suas vantagens, diminuir os riscos e, mais importante, evitar que o foco seja retirado das necessidades dos jogadores com daltonismo.

3 ETAPA 2: INVESTIGAÇÃO DE FERRAMENTAS

O presente capítulo relata a Etapa 2 deste estudo, que teve por objetivo investigar ferramentas utilizadas para a criação de jogos cromaticamente acessíveis para dispositivos móveis (OE1).

A Seção 3.1 descreve a metodologia utilizada. A Seção 3.2 detalha os resultados obtidos com o experimento realizado com duas modalidades de simulação de daltonismo (em tela de *desktop* e em realidade aumentada) no contexto real do desenvolvimento de um jogo para dispositivos móveis. Em seguida, a Seção 3.3 relata os resultados do estudo comparativo realizado com 3 grupos de *guidelines* de acessibilidade para o desenvolvimento de jogos. Por fim, a Seção 3.4 tece as conclusões do capítulo.

3.1 Metodologia

3.1.1 Experimento 1 (EXPI): Estudo com simulações de daltonismo em contexto real

O objetivo deste experimento foi explorar os impactos do **uso de simulações de daltonismo** no desenvolvimento de jogos para dispositivos móveis. Conforme exposto no Capítulo 2, existem diversas formas de se realizar tais simulações. Neste estudo, foi explorado comparativamente o uso de uma simulação em realidade aumentada e o uso de filtros de daltonismo aplicados à tela dos designers e desenvolvedores. Essas simulações são detalhadas na Seção 3.1.1.2.

Visou-se oferecer *insights* e estratégias para o uso de ferramentas de simulação nos diversos estágios de desenvolvimento de um jogo, de forma complementar, ou quando não for possível a realização de design participativo. Em teoria, o uso dessas simulações reduzem as chances de que problemas significativos e estruturais sejam encontrados apenas por meio de testes com usuários daltônicos. Além disso, testes com usuários tendem a ocorrer em fases avançadas do projeto, o que pode gerar custos maiores para o *redesign* dos jogos em caso de descoberta tardia de problemas críticos de acessibilidade.

Os resultados deste experimento foram publicados no Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC 2021) (PINHEIRO *et al.*, 2021) e são apresentados na Seção 3.2.

Dentro deste contexto, questões específicas para guiar esse estudo foram definidas:

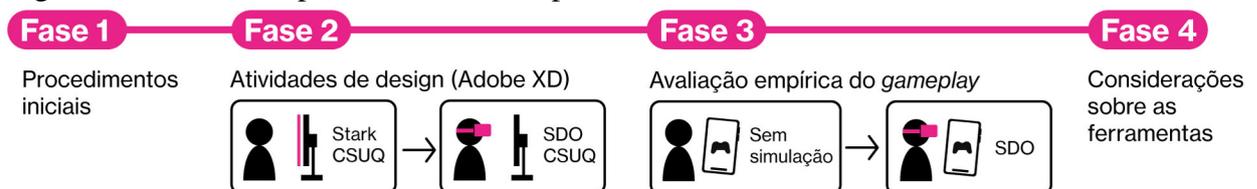
- Q1: Uma simulação de daltonismo em realidade aumentada é útil na consideração da acessibilidade cromática durante o design de um jogo para dispositivos móveis?
- Q2: Existem problemas de acessibilidade cromática que são detectados por apenas um dos tipos de simulação analisados?
- Q3: Existem vantagens em usar uma simulação em realidade aumentada em relação às simulações em tela nesse contexto?

A partir dessas questões, foi elencada a seguinte hipótese: **existem diferenças entre os problemas identificados por uma simulação de daltonismo na plataforma *desktop* e por uma simulação de daltonismo em realidade aumentada.**

Um estudo *within subjects*¹ foi então conduzido com 10 participantes (mais detalhes em 3.1.1.1). Os participantes usaram 2 ferramentas de simulação para realização de 6 tarefas de design e uma avaliação do *gameplay*.

As variáveis independentes foram: qual das simulações estava sendo utilizada pelo participante e o tipo de atividade a ser realizada. Já as variáveis dependentes coletadas foram: a quantidade de problemas registrados pelo participante, a usabilidade das duas simulações (medida com o *Computer System Usability Questionnaire (CSUQ)*) e as opiniões pós-teste dos participantes. A Figura 5 mostra um resumo das 4 etapas que compuseram o experimento EXP1.

Figura 5 – Resumo do procedimento do experimento EXP1



Fonte: elaborado pelo autor.

Todos os testes foram realizados à distância, devido à pandemia da COVID-19. Desenvolveu-se, então, um protocolo detalhado com um passo-a-passo para realizar o experimento. Para garantir a qualidade das descrições do protocolo, após diversas revisões no documento, foi realizado um teste piloto e os devidos ajustes foram feitos. Para organização e fornecimento dos equipamentos necessários, os testes foram agendados individualmente.

¹ Esse tipo de estudo tem apenas um único grupo de usuários que recebe os dois estímulos/tratamentos analisados.

Tabela 2 – Perfis de participantes do EXP1

| | Idade | Grau | Experiência na sua área |
|--------------|-------|------------------------|-------------------------|
| UI1 | 22 | Graduação em andamento | 2 anos |
| UI2 | 24 | Graduação completa | 4 anos |
| UI3 | 25 | Mestrado em andamento | 5 anos |
| DI1 | 24 | Graduação completa | 3 anos |
| DI2 | 33 | Doutorado em andamento | 7 anos |
| DI3 | 25 | Mestrado em andamento | 4 anos |
| DI4 | 25 | Mestrado em andamento | 5 anos |
| UDEV1 | 28 | Doutorado em andamento | 5 anos |
| UDEV2 | 23 | Graduação completa | 4 anos |
| UDEV3 | 23 | Graduação em andamento | 1 ano |

Fonte: elaborado pelo autor.

3.1.1.1 Contexto e participantes

O experimento foi aplicado durante o processo de design e desenvolvimento do *Mage Chef*: um jogo casual para dispositivos móveis Android feito na plataforma Unity². O jogo em desenvolvimento se mostrou adequado para as atividades propostas neste experimento devido ao uso de cores como parte da mecânica principal. Os testes foram aplicados em fases iniciais do projeto, como na criação de *assets* e avaliação de propostas preliminares de interface e *gameplay*³.

Dez participantes foram recrutados para o experimento, utilizando a abordagem de *convenience sampling* (GRAVETTER; FORZANO, 2018), já que todos os participantes eram integrantes do mesmo projeto de desenvolvimento de jogos e precisavam ter assinado o Acordo de Não Divulgação da empresa financiadora do jogo. Todos os aspectos éticos foram respeitados. É importante ressaltar que a participação no experimento não foi compulsória, mesmo estando integrada às atividades de projeto, desenvolvimento e implementação.

O experimento foi apresentado, pelo autor desta dissertação, a todas as pessoas envolvidas no projeto e se voluntariaram aqueles que desejaram participar. Os participantes tinham idades entre 22 e 31 anos e se dividiram em três perfis: três designers de interface (UI), quatro designers de interação (DI) e três desenvolvedores Unity (UDEV). Mais informações sobre os participantes são apresentadas na Tabela 2.

² Mais informações em <https://unity.com/>

³ Recursos de um jogo como as sua história e a maneira de jogá-lo.

3.1.1.2 Materiais e Métodos

3.1.1.2.1 Jogo

O jogo do experimento (Figura 6) pertence à categoria de jogos casuais para *smartphones*. Sua mecânica principal consiste em preparar rapidamente pratos de comida combinando ingredientes pré-estabelecidos. Os pratos são compostos por dois tipos de ingredientes: (1) poções, que definem a cor da preparação, e (2) ingredientes sólidos, que definem a forma geométrica da preparação. As cores e formas podem ainda ser combinações entre os ingredientes. Por exemplo, para servir um pão roxo o jogador deve selecionar o ingrediente sólido circular para definir a forma e as poções vermelha e azul para definir a cor. Após selecionar os ingredientes, o jogador precisa desenhar um glifo na tela seguindo um molde pré-estabelecido para concluir a receita. A qualidade da reprodução do glifo influencia na pontuação atribuída pelo prato preparado.

Figura 6 – Telas do jogo Mage Chef



Fonte: Mage Chef.

O *gameplay* é dividido em dias e existe uma barra de satisfação dos clientes que diminui com o tempo. Assim, para completar com sucesso o dia, o jogador deve preparar pratos de boa qualidade até conseguir chegar à pontuação máxima de satisfação dos clientes.

3.1.1.2.2 Ferramentas de simulação

Para atender às diversas atividades que compõem o design e desenvolvimento de um jogo, foi realizada uma pesquisa exploratória buscando por simulações que oferecessem filtros para que designers e desenvolvedores pudessem visualizar suas interfaces de forma aproximada à visão de pessoas com protanopia, tritanopia e deuteranopia.

Primeiro, com foco nas atividades de criação de *assets*, design de interface e criação de mecânicas, foi definida a necessidade de uma simulação para a plataforma *desktop*. Selecionouse, então, o *plugin Stark*⁴, sendo executado dentro do programa Adobe XD. O *plugin* oferece, além de outros recursos de apoio à criação de interfaces acessíveis, filtros de simulação de daltonismo que podem ser aplicados nas pranchetas de trabalho do programa. Além disso, o Adobe XD já era um programa familiar para os participantes do experimento, tendo sido usado em diversas fases do desenvolvimento do jogo. Neste trabalho, a versão gratuita do Stark foi adotada.

Por mais que as interfaces de jogos para dispositivos móveis sejam comumente desenvolvidas no *desktop*, problemas de acessibilidade por vezes só conseguem ser percebidos quando a interface é observada no dispositivo alvo do desenvolvimento. Assim, para atender às atividades de aprimoramento de mecânicas, testes preliminares de *gameplay* e visualização de *feedbacks* e animações, foi definida uma ferramenta de simulação que pudesse ser aplicada diretamente em dispositivos móveis. Assim, utilizou-se o Simulador de Doenças Oculares (SDO) (SÁ *et al.*, 2020), que consegue aplicar os filtros de daltonismo a qualquer imagem, seja ela analógica ou digital, com o uso de realidade aumentada.

Usando o SDO, o participante pode avaliar um jogo em execução em um outro dispositivo para qual está olhando e interagindo usando óculos de realidade aumentada (Figura 7). Como a simulação é independente do dispositivo no qual o jogo está sendo executado, são removidas também barreiras de ambientes de desenvolvimento, como a Unity, que são incompatíveis com muitas ferramentas de acessibilidade disponíveis para dispositivos móveis (ALSHAYBAN *et al.*, 2020). Uma outra vantagem é que os filtros são aplicados em tempo real, contemplando também animações e vídeos.

⁴ Disponível em <https://www.getstark.co/>

Figura 7 – Representação do uso da simulação em realidade aumentada



Fonte: elaborado pelo autor.

3.1.1.2.3 Dispositivos utilizados

Para minimizar um possível viés pelo uso de equipamentos diferentes, foram fornecidos os seguintes dispositivos para todos os participantes:

- *Smartphone* Moto G8 power lite com Android versão 9 (execução do jogo)
- *Smartphone* Motorola One com Android versão 10 (execução do simulador em realidade aumentada)
- Óculos de realidade virtual e aumentada compatível com o aplicativo Google Cardboard
- Controle *Bluetooth* de XBox One

3.1.1.3 Procedimento

O experimento foi dividido em 4 fases, descritas a seguir.

3.1.1.3.1 Fase 1: Procedimentos Iniciais

Antes de participar do experimento, os voluntários foram convidados a participar de um teste de visão de cores. O teste consistiu em um questionário *online* com 12 placas de Ishihara (HOFFMANN; MENOZZI, 1999). Antes de começar o preenchimento do questionário, os participantes tinham acesso a um texto curto explicando o contexto da pesquisa e assegurando aspectos éticos de liberdade de participação e anonimato. Todos os participantes selecionados conseguiram visualizar corretamente as 12 imagens propostas, sendo qualificados para as próximas etapas do experimento. Após a triagem, o processo de agendamento foi iniciado.

Ao chegar o dia agendado para cada teste, o participante em questão era contactado

e os materiais eram entregues no endereço indicado no ato do agendamento, devidamente higienizados. Com o protocolo do experimento em mãos, cada participante preencheu um breve questionário demográfico e assinou um termo de consentimento livre e esclarecido, detalhando e ratificando os aspectos éticos da pesquisa.

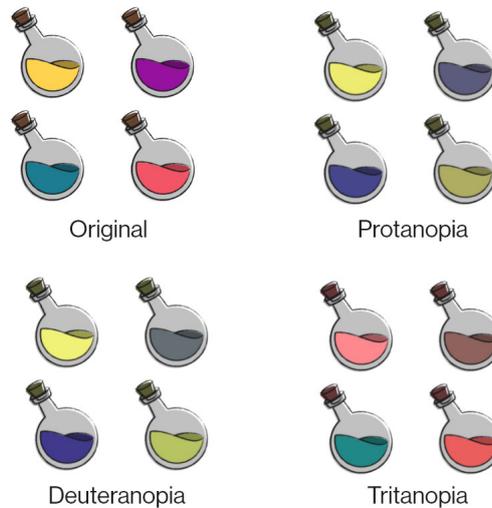
3.1.1.3.2 Fase 2: Atividades de design

A segunda etapa do experimento utilizou o programa Adobe XD e teve como objetivo comparar o uso das duas simulações (i.e., Stark e SDO) para identificar e reduzir problemas de acessibilidade cromática em atividades de design. Cada participante avaliou um conjunto de três atividades utilizando o SDO e um conjunto de outras três atividades equivalentes utilizando o Stark. Para cada atividade, os participantes foram instruídos a explorar os três filtros de dicromacia presentes nas duas simulações. Após exploração, eles foram convidados a alterar as imagens fornecidas de forma a mitigar os problemas identificados. Por fim, eles deveriam registrar dentro da própria interface do programa suas impressões sobre o problema encontrado e qual estratégia foi usada para solucioná-lo. Finalizadas todas as atividades, o arquivo deveria ser salvo e submetido usando um formulário *online*.

As atividades usaram *assets* do jogo e contaram com apenas um problema de acessibilidade a ser identificado pelos participantes. Todos os problemas foram inseridos deliberadamente para o experimento e foram caracterizados pela *guideline* de uso de cores (1.4.1) do WCAG 2.1. A primeira atividade (A1) (Figura 8) de cada uma das ferramentas apresentava 4 elementos retirados do jogo e, durante o uso dos filtros, era possível perceber pouco contraste entre as matizes dos elementos, dificultando a diferenciação. A segunda atividade (A2) funcionava de forma similar, em que os *assets* exibidos possuíam matizes próximas (e.g.: amarelo, laranja e vermelho), que podiam ser confundidas durante a simulação. Por fim, a terceira atividade (A3) tratava da percepção dentro de um gradiente de cores com significados opostos.

Ao concluir a resolução de cada grupo de questões, foi aplicado o CSUQ (LEWIS, 1995) traduzido e validado para o português brasileiro (CREPALDI *et al.*, 2017) para avaliar a usabilidade percebida das ferramentas utilizadas. O questionário foi aplicado usando Google Forms. Após a conclusão desta etapa, foi solicitado que os participantes fizessem **uma pausa** de 20 minutos.

Figura 8 – Atividade 1 da ferramenta Stark e simulações de daltonismo resultantes



Fonte: elaborado pelo autor.

3.1.1.3.3 Fase 3: Avaliação empírica de *gameplay*

A terceira etapa do experimento teve como objetivo analisar o uso do SDO como ferramenta para identificar problemas de acessibilidade dentro do *gameplay* em um protótipo interativo de alta fidelidade desenvolvido na plataforma Unity. Apenas o SDO foi utilizado nesta etapa porque não foram encontradas ferramentas similares ao Stark que possibilitassem a aplicação de filtros de daltonismo em tela e que fossem compatíveis tanto com o sistema Android quanto com aplicações desenvolvidas com a Unity.

Inicialmente, os participantes foram convidados a testar o jogo no *smartphone* fornecido sem utilizar a simulação. Após jogar 3 ciclos do jogo, eles registraram em uma planilha *online* as áreas da interface que eles acreditavam ser potencialmente problemáticas para daltônicos e indicaram possíveis estratégias para minimizar esses problemas. Logo em seguida, os participantes jogaram novamente 3 ciclos do jogo, dessa vez enxergando através da simulação do SDO (utilizando os 3 tipos de simulação oferecidas pela ferramenta). Da mesma forma feita anteriormente, eles preencheram a planilha com os problemas encontrados e possíveis estratégias de solução.

3.1.1.4 Análise dos resultados

Após a aplicação do experimento EXP1, os dados coletados foram submetidos a uma análise quali-quantitativa.

Em relação à fase 2 do experimento, as respostas de cada participante foram avaliadas

Tabela 3 – Áreas problemáticas identificadas na inspeção heurística

| Área problemática | Categoria WCAG | Severidade |
|---|----------------|------------|
| 1 - Identificação da cor do pedido | 1.4.1 | 4 |
| 2 - Barra de paciência | 1.4.1 | 3 |
| 3 - Identificação da cor das poções | 1.4.1 | 4 |
| 4 - Identificação da cor das misturas | 1.4.1 | 4 |
| 5 - Contraste no botão de mistura | 1.4.11 | 2 |
| 6 - Barra de avaliação do glifo | 1.4.1 | 3 |
| 7 - Contraste do rastro do glifo desenhado | 1.4.11 | 2 |
| 8 - Pouco contraste nos botões amarelos da UI | 1.4.11 | 2 |
| 9 - Contornos pretos da comida com pouco contraste (principalmente na cor azul) | 1.4.11 | 2 |
| 10 - Leitura dificultada (fonte muito fina) | 1.4.3 | 3 |
| 11 - Botão de configurações (pouco contraste) | 1.4.11 | 2 |
| 12 - Pouca diferenciação entre itens ativos e inativos na tela de pause | 1.4.1 | 1 |

Fonte: elaborado pelo autor.

individualmente, verificando em cada atividade se o problema de acessibilidade cromática inserido havia sido identificado. Com isso foi possível realizar uma análise quantitativa em relação à eficácia dos participantes com cada uma das ferramentas. Além disso, os dados do CSUQ foram compilados como indicado pelo instrumento. O CSUQ fornece quatro métricas calculando as médias entre as respostas: Geral (*General*: do item 1 ao 19), Uso do sistema (*Sysuse*: do item 1 ao 8), Qualidade da informação (*Infoqual*: do item 9 ao 15) e Qualidade da interação (*Interqual*: do item 16 ao 18). **As pontuações variam de 1 a 7, sendo 1 o valor mais esperado.** Realizou-se ainda uma análise temática com os comentários deixados pelos participantes tanto nas atividades do Adobe XD quanto no CSUQ.

Para a análise dos resultados da fase 3, foi realizada previamente **uma avaliação por inspeção** utilizando as diretrizes do *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1* e a ferramenta SDO no jogo em questão. Foram identificadas e catalogadas 12 áreas problemáticas (Tabela 3) na interface do jogo avaliado. A severidade dos problemas foi representada em uma escala de 1 a 4, onde 1 representa um problema cosmético (não afeta a operação da interface) e 4 representa um problema catastrófico (impede a tarefa) (NIELSEN, 1995).

A partir disso, os problemas registrados pelos participantes foram analisados para identificar repetições dentro das anotações de um mesmo participante. Com a quantidade de problemas únicos identificados, foi possível calcular taxas de eficácia da ferramenta de simulação, comparando os problemas identificados pelos usuários com os problemas catalogados

previamente. Além disso, também foi comparada a quantidade de problemas identificados pelos participantes com e sem a ferramenta SDO.

Por fim, os dados qualitativos coletados na fase 4 do experimento foram submetidos a uma análise temática, buscando por temas recorrentes entre as respostas. Além disso, esses dados foram triangulados com os comentários deixados pelos participantes nas fases anteriores.

Os resultados deste experimento são apresentados na Seção 3.2.

3.1.2 Guidelines: Estudo comparativo

Estão disponíveis na literatura um grande número de *guidelines* para criação de jogos acessíveis. Para compilar as recomendações sobre cores das principais delas foi realizado um estudo comparativo de *guidelines* de acessibilidade para jogos. O grupo das *guidelines* para jogos acessíveis mais citadas pela literatura, conforme Fortes *et al.* (2017), Araújo *et al.* (2015), foi utilizado como base para exploração inicial. Foram excluídas as fontes que não contemplavam cores em suas recomendações e adicionado o conjunto de *guidelines* de acessibilidade da plataforma XBox, por trazer mais diretamente a perspectiva da indústria. Assim, as *guidelines* selecionadas foram:

- *Accessible Player Experiences (APX) - The AbleGames Foundation*
- *Game Accessibility Guidelines*
- *Xbox Accessibility Guidelines*

Após a seleção, os conjuntos de recomendações foram explorados individualmente e foram mantidas apenas as recomendações relacionadas a visão de cores, com as devidas correspondências entre os conjuntos. Os resultados desse estudo são apresentados na Seção 3.3 e foram utilizados como base para o planejamento e a análise dos experimentos conduzidos na próxima etapa da pesquisa.

3.2 Resultados do Experimento 1 (EXP1): Estudo com simulações de daltonismo em contexto real

Os resultados apresentados nesta seção estão organizados de acordo com as seguintes etapas do EXP1: atividades de design (fase 2), avaliação empírica da jogabilidade (fase 3) e considerações sobre as ferramentas (fase 4), já que a fase 1 tratou apenas de procedimentos de triagem e agendamento, não havendo resultados. Discussões detalhadas sobre esses resultados

foram publicadas em um artigo no XX Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC 2021) (PINHEIRO *et al.*, 2021).

3.2.1 Fase 2: Atividades de design

Nesta etapa, foi observado como as ferramentas de simulação impactaram na capacidade dos participantes em identificar problemas de acessibilidade em cada atividade proposta. A eficácia de cada ferramenta por participante e atividade é apresentada na Tabela 4. Na amostra analisada, a simulação de realidade aumentada apresentou eficácia média superior (90%, DP = 0,161%) à da simulação de *desktop* (76,67%, DP = 0,224%). A métrica de eficácia foi avaliada de acordo com a precisão e abrangência com que os usuários alcançaram os objetivos especificados, seguindo as métricas ISO/IEC 9126-4.

Tabela 4 – Eficácia das ferramentas por participante nas atividades da primeira etapa do EXP1

| | Simulação de realidade aumentada | | | | | Simulação de <i>desktop</i> | | | | |
|--------------|----------------------------------|----|----|--------------------|---------|-----------------------------|----|----|--------------------|---------|
| | A1 | A2 | A3 | Média (DP) | Mediana | A1 | A2 | A3 | Média (DP) | Mediana |
| UI1 | ✓ | ✓ | | 88,89% (19,24%) | 100,00% | ✓ | | ✓ | 66,67% (0,00%) | 66,67% |
| UI2 | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| UI3 | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| DI1 | ✓ | ✓ | ✓ | 91,67% (16,67%) | 100,00% | ✓ | ✓ | ✓ | 75,00% (31,91%) | 83,34% |
| DI2 | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| DI3 | | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| DI4 | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| UDEV1 | ✓ | ✓ | | 88,89% (19,24%) | 100,00% | ✓ | ✓ | | 88,89% (19,24%) | 100,00% |
| UDEV2 | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| UDEV3 | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | |

Fonte: elaborado pelo autor.

Na atividade de diferenciação de cores com matizes diferentes (A1), nove participantes (90%) conseguiram identificar o problema com a simulação de realidade aumentada, enquanto todos os dez participantes conseguiram identificá-lo com a simulação de *desktop*. Na atividade de diferenciação de cores com brilho diferente (A2), todos os dez participantes identificaram o problema usando a simulação de realidade aumentada e sete conseguiram identificá-lo usando a simulação de *desktop*. A atividade mais problemática entre os participantes foi identificar a relação entre cores e função na interface (A3). Oito participantes identificaram esse problema com a simulação de realidade aumentada e seis com a simulação de *desktop*.

A simulação de realidade aumentada foi mais eficaz para os participantes do DI

na identificação de problemas de acessibilidade nas 3 atividades (média de 91,67%) do que a simulação de *desktop* (75,00%). Ambas as ferramentas mostraram sua menor eficácia com participantes de UI (88,89% para a simulação de realidade aumentada e 66,67% para a simulação de *desktop*). Isso pode estar relacionado ao foco dos participantes nos aspectos estéticos demonstrados em seus comentários. Esse foco pode ter impedido que os usuários percebessem sérios problemas de acessibilidade. Por exemplo, UI1 comentou sobre o impacto do filtro de cores na semiótica dos elementos de suporte na atividade A3, mas não conseguiu identificar que duas cores com funções completamente opostas apareceram iguais nos filtros protan- e deutan- (Figura 9).

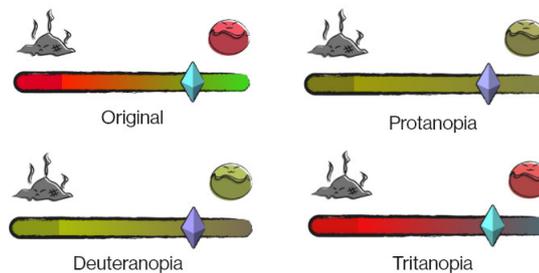


Figura 9 – Atividade 3 da fase 2 de EXP1 e resultados de simulações de daltonismo feitas com a ferramenta Stark

As médias dos escores gerais do CSUQ para as duas ferramentas de simulação foram semelhantes, com a simulação de *desktop* com média de 2,68 (DP = 1,44) e a simulação de realidade aumentada com 2,86 (DP = 0,77). No entanto, o uso do sistema (*sysuse*) foi melhor avaliado na simulação de realidade aumentada (M = 2,35, SD = 0,74) em comparação com a simulação de *desktop* (M = 2,75, SD = 1,88). A simulação de *desktop* teve melhor desempenho em termos de qualidade da informação (*infoqual*) (M = 2,35, SD = 1,13) do que a simulação de realidade aumentada (M = 3,14, SD = 1,07). O mesmo aconteceu com o índice de qualidade da interação (*interqual*), em que a simulação de *desktop* recebeu uma média de 2,80 (DP = 1,76) em comparação com uma média de 3,85 (DP = 1,47) para a simulação de realidade aumentada. Os comentários dos usuários coletados pelo CSUQ serão apresentados na Seção 3.2.3.

3.2.2 Fase 3: Avaliação empírica do gameplay

Os problemas de acessibilidade cromática encontrados pelos participantes foram computados e agrupados (Tabela 5). Os participantes identificaram em média 21% (DP = 0,18%) dos problemas catalogados sem utilizar a simulação em realidade aumentada. Esse valor subiu

para 37,5% (DP = 0,22%) ao utilizar a simulação. Além da influência da ferramenta, esse aumento também pode estar relacionado ao fato de que, ao utilizar a simulação, os participantes já estavam mais experientes e confortáveis com a interface do jogo, pois já o haviam avaliado sem a simulação. No entanto, foi identificado também pelos comentários deixados pelos participantes que o uso da simulação em realidade aumentada “*é mais eficiente em identificar problemas de acessibilidade do que analisar a olho nu*”, conforme afirmou o participante UI3.

Tabela 5 – Número de problemas identificados com e sem a simulação de realidade aumentada na segunda etapa do EXP1

| | Sem simulação | | | Com simulação | | |
|-------|-------------------------|------------|---------|-------------------------|------------|---------|
| | Problemas identificados | Média (DP) | Mediana | Problemas identificados | Média (DP) | Mediana |
| UI1 | 0 (0,00%) | | | 2 (16,67%) | | |
| UI2 | 1 (8,33%) | | | 5 (41,67%) | | |
| UI3 | 1 (8,33%) | | | 3 (25,00%) | | |
| DI1 | 4 (33,33%) | | | 2 (16,67%) | | |
| DI2 | 7 (58,33%) | 22,50 % | 16,67% | 10 (83,33%) | 32,50% | 25,00% |
| DI3 | 3 (25,00%) | (18,86%) | | 4 (33,33%) | (20,20%) | |
| DI4 | 5 (41,67%) | | | 3 (25,00%) | | |
| UDEV1 | 4 (33,33%) | | | 5 (41,67%) | | |
| UDEV2 | 1 (8,33%) | | | 2 (16,67%) | | |
| UDEV3 | 1 (8,33%) | | | 3 (25,00%) | | |

Fonte: elaborado pelo autor.

Foi observada uma relação entre a eficácia na identificação de problemas e a experiência do participante (Figura 10). Quanto mais anos de experiência em IHC, mais problemas os participantes conseguiram identificar. No entanto, mesmo participantes com menos experiência, como os participantes UI1 e UDEV3, conseguiram identificar problemas graves nas principais mecânicas do jogo utilizando a simulação. Como o jogo avaliado foca no uso de cores em sua jogabilidade, muitos participantes, principalmente do perfil DI, conseguiram, mesmo sem utilizar a simulação, identificar os problemas das mecânicas principais. Com o uso da simulação, esses participantes confirmaram os principais problemas mecânicos e também identificaram problemas menores que impactavam a usabilidade, o *feedback* e a estética do jogo.

Assim como na fase 2, a simulação de realidade aumentada foi mais efetiva para DI (M = 39,5%, DP = 0,30), seguida de UI e UDEV, com indicadores iguais (M = 27,8%, DP = 0,127). Este resultado era esperado para UDEV, uma vez que a avaliação da acessibilidade da interface não é uma tarefa comum para os desenvolvedores. Em relação a UI, esse resultado pode ser atribuído ao menor tempo de experiência dos participantes. Mesmo assim, todos os

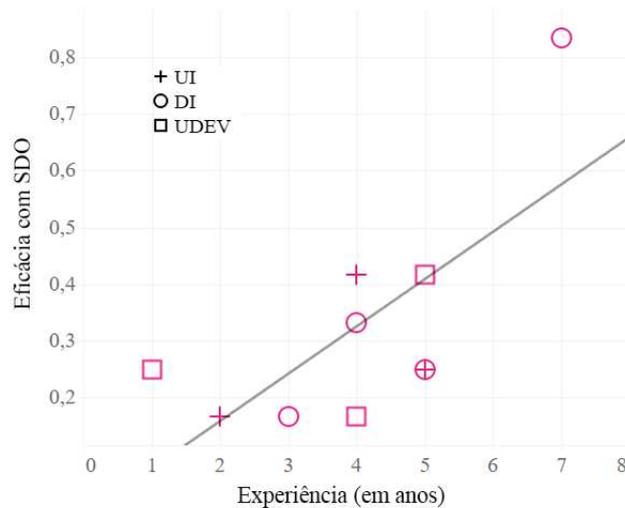


Figura 10 – Eficácia na identificação de problemas de acessibilidade cromática usando um simulador em realidade aumentada (SDO) por anos de experiência em IHC do participante

participantes da UI e UDEV conseguiram identificar problemas críticos (severidade 4) por meio da simulação.

3.2.3 Fase 4: Considerações sobre as ferramentas

A última fase do experimento EXP1 envolveu os registros das impressões dos participantes sobre o uso do SDO para a identificação de problemas de acessibilidade do *gameplay*. As opiniões dos participantes foram variadas quanto à satisfação em usar a simulação de *desktop*. Houve uma preferência entre os participantes de UI (concentração de pontuações positivas do CSUQ), provavelmente porque a simulação de *desktop* não representa uma grande mudança no fluxo de trabalho do designer de interface. O participante UI2, por exemplo, destacou que era vantajoso que a simulação de *desktop* fosse um *plugin*, pois não era necessário rodar vários programas simultaneamente para realizar as atividades. Por outro lado, as reclamações foram semelhantes entre todos os usuários, mesmo aqueles que avaliaram o aplicativo positivamente. As principais reclamações foram: (1) não é possível comparar facilmente os resultados do filtro com a imagem original; (2) os resultados não são processados em tempo real nem no próprio espaço de trabalho do Adobe XD, dificultando o teste de alternativas; e (3) o sistema não oferece informações sobre os tipos de daltonismo.

Os participantes, em geral, tiveram uma percepção positiva quanto à utilidade e conceito da simulação de realidade aumentada. No entanto, as pontuações do CSUQ para esse aplicativo foram menores do que as da simulação de *desktop*, especialmente entre os participantes de DI. Esse grupo levantou a necessidade de adicionar funcionalidades que auxiliem

na documentação do processo de avaliação. O participante DI2, por exemplo, sentiu a necessidade de retirar o dispositivo do rosto para registrar suas percepções sobre a interface e achou isso incômodo, e.g. "*É chato ficar indo e voltando entre o óculos e o meio onde vc está fazendo anotações (seja computador ou papel)*". Além disso, o participante DI3 relatou dificuldade em manusear os vários dispositivos de entrada simultaneamente, pois, além de manusear o *smartphone* ou computador que estava sendo observado, o participante ainda precisava usar o *joystick* para alternar entre os filtros da simulação de realidade aumentada. Outras reclamações foram: (1) dificuldade inicial para configurar e se acostumar com o sistema; (2) falta de indicação de qual filtro está ativo em determinado momento; e (3) uma interface pouco atraente com problemas de usabilidade. Por outro lado, participantes como UDEV1 e UDEV2 destacaram o fato de o filtro ser aplicado em tempo real, facilitando a visualização de animações e ajustes na interface. Outras vantagens levantadas pelos participantes foram: (1) independência entre a simulação e a plataforma de execução do jogo; (2) facilidade de troca entre os filtros, favorecendo a comparação; e (3) praticidade e baixo custo do sistema.

Todos os participantes afirmaram que recomendam o uso de simulações de realidade aumentada como parte do design e desenvolvimento de jogos para dispositivos móveis, mas várias ressalvas foram feitas. O participante DI2 enfatizou que a experiência do uso da simulação de realidade aumentada não foi confortável e não promoveu uma simulação precisa da jogabilidade devido à demora na exibição das imagens filtradas e ao desconforto gerado pelo uso dos óculos de realidade aumentada, e.g. "*acho que ele dificulta um bocado essa tarefa de jogar e analisar, porque a visão não é boa, tive dificuldade até pra "mirar" em elementos pequenos na tela do celular*". No entanto, o mesmo participante apontou que a simulação de realidade aumentada contemplou o contexto dos jogos em dispositivos móveis de uma forma que outros tipos de ferramentas atualmente disponíveis não o fazem. Ao mesmo tempo, muitos usuários sugeriram o uso de simulação de realidade aumentada para identificar problemas de acessibilidade cromática em protótipos jogáveis em diferentes níveis de complexidade. No entanto, eles ainda preferem simulações de tela para atividades de design de interface.

Por fim, os participantes destacaram a imersão gerada pela realidade aumentada. A maioria dos participantes relatou dificuldade em concluir os ciclos do jogo utilizando a simulação, mesmo os envolvidos na criação do jogo e familiarizados com todas as mecânicas, mostrando a relevância das cores para a jogabilidade. Essa dificuldade pode ter ajudado a esclarecer os graves problemas de acessibilidade, pois esses problemas dificultavam diretamente a experiência

dos participantes com o jogo. Em relação a isso, o participante UI2 afirmou acreditar que a experiência imersiva ajudou a identificar problemas de acessibilidade: "*Acredito que seu uso torne as avaliações mais acuradas, pela imersão*".

Adicionalmente, houve indícios de que o uso da simulação em realidade aumentada promoveu a conscientização e o debate sobre acessibilidade, simulando diretamente os impactos da deficiência. O participante UI1 afirmou que, por mais que imaginasse que deficiências na visão de cores impactariam a experiência do jogo, ver o jogo no dispositivo-alvo por meio de simulação mostrou que o impacto seria muito maior do que o previsto, afetando não apenas os aspectos pragmáticos que ajudam a completar os desafios do jogo, mas também os aspectos estéticos e afetivos.

3.3 Resultados do Estudo Comparativo de Guidelines

Para compilar as recomendações sobre cores das principais guidelines disponíveis na literatura, foi realizado um estudo comparativo de *guidelines* de acessibilidade para jogos. Através da análise dos três grupos de *guidelines* selecionados, foi identificado que eles se apresentam em diferentes níveis de detalhamento. APX apresenta as recomendações mais abrangentes, cobrindo e destacando aspectos do uso de cores em jogos que não estão presentes nos outros grupos de *guidelines* avaliados (i.e., distinguir entre elementos e possibilidade de desviar de partes do jogo que podem ser inacessíveis para continuar progredindo). As recomendações de *Game Accessibility Guidelines* (GAG) seguem um nível de detalhamento mais avançado, dividindo as recomendações entre básicas, intermediárias e avançadas. No outro lado do espectro, a *XBox Accessibility Guidelines* (referida nesta seção como "XBox") oferece recomendações mais específicas, chegando a detalhar valores como proporção mínima de contraste para diferentes situações que podem acontecer dentro dos jogos. Por mais que um maior nível de detalhamento seja desejável, a forma como as *XBox Accessibility Guidelines* são apresentadas pode afastar desenvolvedores menos experientes.

Também foi observado que as *guidelines* possuem diferentes perspectivas de como os problemas devem ser solucionados. APX destaca sempre a personalização, indicando que o jogo deve oferecer meios para que o jogador com deficiência configure a experiência da maneira mais adequada para ele. Por outro lado, XBox, sempre que possível, prioriza meios para solucionar ou minimizar problemas sem a necessidade do jogador precisar definir configurações personalizadas. GAG aparenta ficar no meio termo entre as duas abordagens.

Por mais que existam essas diferenças entre os grupos de *guidelines*, as recomendações oferecidas por eles são consistentes. Todas as *guidelines* avaliadas apresentaram pelo menos uma recomendação diretamente relacionada ao critério de utilização de cores (1.4.1) do WCAG 2.0, que determina que cores não devem ser utilizadas como única maneira de transmitir conteúdo ou distinguir elementos visuais. Além disso, também não foram encontradas recomendações conflitantes. A Tabela 6 apresenta recomendações relacionadas ao uso de cores em jogos nos três grupos analisados e como elas se relacionam entre si. Também foram consideradas recomendações que não estão diretamente relacionadas com o uso de cores, mas que podem melhorar a experiência de pessoas com daltonismo (e.g. salvar configurações de acessibilidade para as partidas seguintes).

Tabela 6 – Resumo comparativo de grupos de *guidelines*

| Recomendação | APX | GAG | XBox |
|--|------------|------------|-------------|
| Nenhuma informação essencial deve ser transmitida apenas por cor | ✓ | ✓ | ✓ |
| Jogadores devem ser capazes de personalizar a sua interface | ✓ | ✓ | ✓ |
| Jogadores devem ser capazes de salvar suas configurações de acessibilidade | ✓ | ✓ | |
| O texto deve ser claro e legível | ✓ | ✓ | ✓ |
| Diferentes elementos de um jogo devem ser distinguíveis entre si | ✓ | | ✓ |
| O jogo deve oferecer condições para que as informações sejam claramente transmitidas aos jogadores | ✓ | ✓ | ✓ |
| Jogadores devem ter a possibilidade de desviar de partes do jogo que podem ser inacessíveis para continuar progredindo | ✓ | ✓ | ✓ |
| Jogadores devem poder confirmar ou desfazer escolhas | ✓ | | ✓ |

Fonte: elaborado pelo autor.

3.4 Conclusão

Neste capítulo, foram apresentados os resultados da etapa 2 da metodologia aplicada nesta pesquisa. Esta etapa foi composta por (1) um experimento com duas modalidades de simulação de daltonismo (em tela de *desktop* e em realidade aumentada) no contexto real do desenvolvimento de um jogo para dispositivos móveis, e por (2) um estudo comparativo de 3 conjuntos populares de *guidelines* de acessibilidade específicas para o desenvolvimento de jogos.

O experimento foi conduzido com 10 participantes de diferentes perfis que compõem uma equipe de desenvolvimento de jogos, com variados níveis e experiência. Os resultados desse experimento, além de contribuir para a criação das recomendações descritas no Capítulo 6, serviram de base para o planejamento da etapa 3 da pesquisa. Os problemas de acessibilidade

cromática identificados no jogo *Mage Chef* serviram de referência para a construção do protótipo de jogo que foi utilizado nos experimentos da etapa 3. Além disso, a relação observada entre nível de experiência do participante e eficácia na identificação de problemas com simulações de daltonismo foi essencial para definir o perfil dos participantes recrutados nos experimentos seguintes (desenvolvedores iniciantes de jogos).

Já o estudo comparativo de *guidelines* contribuiu com a identificação de quais grupos de *guidelines* cobrem de forma mais completa questões relacionadas à acessibilidade cromática e serviu como base para a definição dos problemas inseridos no protótipo de jogo utilizado nos experimentos da etapa 3 desta pesquisa.

4 ETAPA 3: ESTUDO APROFUNDADO

O presente capítulo relata a Etapa 3 deste estudo, que teve como objetivos verificar a relação entre problemas de acessibilidade cromática identificados por desenvolvedores utilizando simulações e por pessoas com daltonismo em jogos para dispositivos móveis (OE2), e identificar oportunidades e limitações do uso de simulações de daltonismo na identificação de problemas de acessibilidade cromática em processos de desenvolvimento de jogos para dispositivos móveis (OE3).

A Seção 4.1 apresenta a metodologia utilizada. Os resultados dos dois experimentos conduzidos (EXP2 e EXP3) são apresentados respectivamente nas Seções 4.2 e 4.3. Por fim, a Seção 4.4 tece as conclusões do capítulo.

4.1 Metodologia

A partir da literatura e dos estudos realizados em etapas anteriores, foram levantadas as seguintes hipóteses para guiar o desenvolvimento dos próximos passos:

- H1: Há diferença significativa entre os problemas de interface encontrados por desenvolvedores iniciantes utilizando simulação de daltonismo e por jogadores com daltonismo.
- H2: Há diferença entre a percepção do significado de *assets* de um jogo por desenvolvedores iniciantes e por jogadores com daltonismo, devido à variação de cores.

Assim, esta etapa foi dividida em dois experimentos: EXP2 e EXP3. O primeiro focou na identificação de problemas de acessibilidade cromática em um jogo para dispositivos móveis. O segundo, por sua vez, investigou as diferenças da percepção de cores e seus significados entre participantes com visão típica e participantes com DVC. Esta etapa trouxe insumos para responder às 4 questões de pesquisa levantadas na introdução, contribuindo com os objetivos específicos OE2 e OE3.

4.1.1 Experimento 2 (EXP2): Identificação de problemas de acessibilidade cromática

Com o objetivo de identificar oportunidades e limitações do uso de simulações de daltonismo para identificar problemas de acessibilidade cromática em jogos *mobile*, foi realizado um experimento *between-subjects* com jogadores com daltonismo e desenvolvedores de jogos. Os participantes foram convidados a jogar um protótipo de jogo para dispositivos móveis e a identificar problemas de acessibilidade cromática. Seguindo os resultados da etapa 2,

optou-se por recrutar desenvolvedores com no máximo um ano de experiência na indústria de desenvolvimento de jogos, para testar o quão bem a experiência empírica de usar as simulações poderia ajudar a identificar problemas mesmo com conhecimento apenas superficial sobre acessibilidade e desenvolvimento de jogos.

A variável independente deste experimento é a presença de deficiência na visão de cores. Os participantes que não apresentaram tal deficiência utilizaram simulação de daltonismo. Já as variáveis dependentes são a quantidade de problemas controlados encontrados, o estado de humor do participante antes e depois do teste - utilizando o questionário Escala de Humor de Brunel (BRUMS) (BRANDT *et al.*, 2016) -, e o desempenho do participante no *gameplay* (tempo, pontuação e quantidade de vidas gastas).

Este experimento testou a hipótese H1, explorando os elementos de mecânica, estética e tecnologia. A seguir, são detalhados os materiais, os participantes e o procedimento utilizados nesse experimento.

4.1.1.1 Materiais

O objeto a ser analisado pelos participantes desse experimento foi um protótipo de jogo de plataforma de rolagem lateral (*side-scrolling*) desenvolvido exclusivamente para esta atividade ¹. Optou-se por este gênero de jogo porque a maioria dos jogadores estaria familiarizada com sua mecânica básica, já que é semelhante a jogos clássicos como Super Mario Bros ou Donkey Kong. O protótipo foi desenvolvido no *GameMaker Studio 2* para ser executado em um celular Android.

O jogo foi desenvolvido com apenas uma fase. O principal objetivo do jogo era levar o personagem principal até o final da fase enquanto coletava as frutas vermelhas e desviava dos inimigos. Se o personagem principal colide com o inimigo 3 vezes, o jogo recomeça. Em determinado momento da fase, o jogador é apresentado a frutas podres que, se coletadas, deixam o personagem principal doente e lento por 2 segundos.

O jogo foi criado com cinco problemas controlados de acessibilidade cromática, conforme listado na Tabela 7. Os problemas foram criados para contradizer diretrizes comuns de acessibilidade de jogos relacionadas às cores, identificadas na etapa 2 da pesquisa. As diretrizes do APX foram consideradas as mais amplas, por isso foram utilizadas para categorizar os

¹ O protótipo desenvolvido pode ser baixado em https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1k3FdGs_5AT98Mft91Dj793faxeJo_Sdz

problemas do protótipo.

Tabela 7 – Problemas controlados de acessibilidade inseridos no protótipo de EXP2

| | Problema controlado | APX | WCAG |
|-----------|---|-----------------------------------|-------------|
| P1 | Objetos com efeitos opostos sendo diferenciados por cor | <i>Second channel</i> | 1.4.1 |
| P2 | Contraste insuficiente entre inimigo e partes do plano de fundo | <i>Distinguish this from that</i> | 1.4.11 |
| P3 | Indicador de vida com pouco contraste com o plano de fundo | <i>Distinguish this from that</i> | 1.4.11 |
| P4 | <i>Feedback</i> de dano dado através de cor | <i>Second channel</i> | 1.4.1 |
| P5 | Mudança no estado do personagem indicada por cor | <i>Second channel</i> | 1.4.1 |

Fonte: elaborado pelo autor.

Os dois problemas mais graves eram que as frutas boas e estragadas só podiam ser diferenciadas por sua cor, que parecia muito semelhante nas simulações (P1), e que o contraste do inimigo com as plataformas marrons, quando visto nas simulações (especialmente deutan-), fica muito baixo (P2). Além disso, a exibição da vida tinha baixo contraste com o fundo (P3). Os últimos 2 problemas foram relacionados aos *feedbacks* do jogo que utilizavam cores como o principal estímulo para informar o jogador. Quando o personagem principal toca o inimigo, a tela inteira pisca em vermelho (P4), no entanto, o personagem principal também é jogado para trás. Por fim, quando o personagem principal pega uma fruta estragada, a cor do seu rosto muda para verde (P5).

O jogo registrava automaticamente algumas estatísticas para cada partida: (1) tempo gasto para completar a fase, (2) número de frutas boas coletadas, (3) número de frutas ruins coletadas, e (4) número de vezes que o personagem morreu. Esses dados foram utilizados na etapa 4 da pesquisa para medir o desempenho dos participantes ao jogar o protótipo.

Para fins de padronização e proteção da privacidade dos participantes do experimento, o protótipo foi executado em um *smartphone Moto G8 power lite* fornecido pelo pesquisador, com *Android* versão 9. Durante os testes, alguns participantes utilizaram simulações de daltonismo. Para isto, foram utilizadas as simulações nativas do sistema operacional *Android*, disponíveis através do modo de desenvolvedor.

Para calcular o estado de humor dos participantes antes de depois da realização do experimento, foi utilizada a BRUMS (BRANDT *et al.*, 2016). A escala mede o humor do participante nas dimensões de tensão, depressão, raiva, fadiga, vigor e confusão. Para facilitar a aplicação e a análise dos dados gerados por esse instrumento, sua aplicação foi realizada através

da plataforma EmoFrame² (SANTOS *et al.*, 2022).

4.1.1.2 Participantes

Este experimento foi realizado com 25 participantes de dois perfis diferentes, jogadores com daltonismo (JD) e desenvolvedores iniciantes de jogos (DEV). O recrutamento para o perfil JD utilizou os seguintes critérios de inclusão: a) ter daltonismo do tipo protan- ou do tipo deutan-; b) ter familiaridade com o uso de *smartphones*; c) possuir disponibilidade para participar presencialmente do experimento. Os critérios de exclusão foram: a) ser menor de idade; b) não estar vacinado contra a COVID-19; c) não residir em Fortaleza (CE) ou região metropolitana. Assim, foi recrutado um grupo de 10 participantes, todos do sexo masculino, exceto por um participante não binário. Quanto à formação, 4 desses participantes tinham ensino médio completo (40%), 1 tinha ensino superior completo (10%) e 5 são pós-graduados (50%). Em relação à frequência de uso de jogos para *smartphones*, 3 participantes do JD jogam diariamente (30%), 4 jogam eventualmente (40%) e 3 jogam raramente (30%). 4 desses participantes (40%) tinham experiência anterior com desenvolvimento de jogos.

O recrutamento para o perfil DEV utilizou os seguintes critérios de inclusão: a) ter visão de cores típica; b) ter familiaridade com desenvolvimento de jogos; c) possuir disponibilidade para participar presencialmente do experimento. Os critérios de exclusão foram: a) ter trabalhado por mais de 1 ano no mercado de desenvolvimento de jogos; b) ser menor de idade; c) não estar vacinado contra a COVID-19; d) não residir em Fortaleza (CE) ou região metropolitana. Assim, foi recrutado um grupo de 15 pessoas, composto por 8 mulheres e 7 homens. Quanto à formação, a maioria tinha ensino médio completo (86,66%), com apenas 1 participante com ensino superior completo (6,67%) e 1 pós-graduado (6,67%). Em relação à frequência de uso de jogos para *smartphones*, 1 participante jogava diariamente (6,67%), 5 jogavam com frequência (33,33%), 6 jogavam eventualmente (40%) e 3 jogavam raramente (20%). Dentre os participantes de DEV, 10 (66,66%) estudaram desenvolvimento de jogos e desenvolveram alguns testes e 5 (33,33%) já haviam participado de um processo real de desenvolvimento de jogos.

Os sujeitos de JD foram recrutados através de *convenience sampling* (GRAVETTER; FORZANO, 2018), a partir de uma lista de contatos dos autores, e através da Feira do Conhecimento 2022 (Ceará), em que este projeto de pesquisa foi apresentado. Por outro lado, os participantes de DEV foram recrutados aleatoriamente nas disciplinas de desenvolvimento de

² Disponível em: <https://emoframe.icmc.usp.br/>

Tabela 8 – Participantes de EXP2

| | Idade | Gênero | Educação | Frequência com que joga (<i>mobile</i>) | Experiência com criação de jogos |
|--------------|--------------|---------------|-----------------|--|---|
| JD1 | 18 a 24 | M | Ensino médio | Eventualmente | Desenvolveu testes |
| JD2 | 45 a 54 | M | Pós-graduação | Eventualmente | Não |
| JD3 | 25 a 34 | M | Pós-graduação | Eventualmente | Não |
| JD4 | 25 a 34 | M | Pós-graduação | Raramente | Não |
| JD5 | 25 a 34 | NB | Pós-graduação | Diariamente | Desenvolveu testes |
| JD6 | 18 a 24 | M | Ensino médio | Diariamente | Não |
| JD7 | 25 a 34 | M | Graduação | Raramente | Não |
| JD8 | 18 a 34 | M | Ensino médio | Raramente | Desenvolveu jogos |
| JD9 | 18 a 34 | M | Ensino médio | Eventualmente | Não |
| JD10 | 45 a 54 | M | Pós-graduação | Diariamente | Desenvolveu jogos |
| DEV1 | 25 a 34 | F | Ensino médio | Eventualmente | Desenvolveu jogos |
| DEV2 | 18 a 24 | F | Ensino médio | Raramente | Desenvolveu testes |
| DEV3 | 18 a 24 | F | Ensino médio | Frequentemente | Desenvolveu testes |
| DEV4 | 18 a 24 | M | Ensino médio | Diariamente | Desenvolveu testes |
| DEV5 | 25 a 34 | M | Pós-graduação | Eventualmente | Desenvolveu testes |
| DEV6 | 28 a 24 | M | Ensino médio | Frequentemente | Desenvolveu testes |
| DEV7 | 18 a 24 | F | Ensino médio | Raramente | Desenvolveu jogos |
| DEV8 | 18 a 24 | F | Ensino médio | Frequentemente | Desenvolveu testes |
| DEV9 | 18 a 24 | F | Ensino médio | Eventualmente | Desenvolveu testes |
| DEV10 | 18 a 24 | M | Ensino médio | Eventualmente | Desenvolveu jogos |
| DEV11 | 18 a 24 | M | Ensino médio | Eventualmente | Desenvolveu testes |
| DEV12 | 18 a 24 | M | Graduação | Frequentemente | Desenvolveu jogos |
| DEV13 | 18 a 24 | F | Ensino médio | Frequentemente | Desenvolveu testes |
| DEV14 | 18 a 24 | F | Ensino médio | Eventualmente | Desenvolveu jogos |
| DEV15 | 18 a 24 | M | Ensino médio | Raramente | Desenvolveu testes |

Fonte: elaborado pelo autor.

jogos do curso de Sistemas e Mídias Digitais, da Universidade Federal do Ceará.

4.1.1.3 Procedimento

Todas as sessões foram conduzidas por um facilitador. Após ser apresentados à pesquisa e assinar o termo de consentimento livre e esclarecido, os participantes foram convidados a preencher o questionário demográfico e o questionário BRUMS. Em seguida, foi solicitado que os participantes jogassem o protótipo normalmente até conseguirem chegar ao final da fase. Essa partida de jogo foi gravada. Em seguida, os participantes tiveram 15 minutos para explorar livremente o protótipo e registrar os problemas de acessibilidade cromática encontrados. Caso o participante não tivesse daltonismo, ele seria instruído sobre como utilizar as simulações de daltonismo nativas do celular Android para que a avaliação pudesse ser realizada. Caso contrário, eles continuariam analisando o jogo apenas com sua visão natural. Independentemente

do perfil, os participantes foram solicitados a classificar cada um dos problemas registrados em uma escala de severidade de 1 a 4, em que 1 representava um problema cosmético (não afetou o funcionamento da interface) e 4 representava um problema catastrófico (impediu que uma tarefa fosse realizada) (NIELSEN, 1995). Após a atividade, o BRUMS foi aplicado novamente. Por fim, foi realizada e gravada uma pequena entrevista semiestruturada com cada participante. Foram utilizadas as seguintes perguntas para nortear a entrevista:

- "Como foi sua experiência jogando o protótipo?"
- "Qual dos problemas identificados foi o mais grave na sua opinião?"
- (Caso o participante não tenha registrado algum dos problemas controlados) "O que você acha desta parte da interface?"
- (Se o participante registrou um problema extra) "Você pode falar sobre esse problema que você registrou?"
- (Se o participante tiver visão típica) "O que você acha de usar esse tipo de ferramenta de simulação em um processo de desenvolvimento de jogos?"

4.1.2 Experimento 3 (EXP3): Percepção de cores e significados

Este experimento teve como objetivo explorar o significado das cores em jogos para celular, vistos por meio da simulação de daltonismo. Pensando nisso, foi utilizado um design *between-subjects*, em que foi investigado como o uso de cores diferentes pode impactar na interpretação de jogadores com daltonismo em situações comuns em jogos, e como essa se compara à interpretação de jogadores com visão típica usando simulações de daltonismo sobre a mesma situação.

Este experimento foi realizado através de um questionário *online* e testou a hipótese H2, explorando os elementos de estética e história em um jogo para dispositivos móveis. A variável independente deste experimento é a presença de deficiência na visão de cores. Os participantes que não apresentarem tal deficiência utilizarão simulação de daltonismo. Já a variável dependente será a palavra associada pelo participante a cada uma das imagens apresentadas pelo questionário. A seguir, são detalhados os participantes, delineamento, materiais e procedimento desta etapa.

4.1.2.1 Participantes

Ao todo, 50 pessoas responderam ao questionário online e foram divididas em dois perfis: participantes com daltonismo (PD) e participantes com visão típica de cores (PVT). Os critérios de inclusão para ambos os perfis foram: a) ter daltonismo dos tipos protan ou deutan (para PD) ou ter visão de cores típica (para PVT); b) ter familiaridade com o uso de *smartphones*; c) possuir acesso à internet; d) ter acesso a um local calmo para realizar o teste. Os critérios de exclusão foram: a) ser menor de idade; b) não ter acesso a um local adequado para a realização do teste.

O perfil PD foi composto por 18 participantes, todos do sexo masculino, exceto por 1 participante não-binário e 1 que preferiu não informar o gênero. Em relação à formação, 7 desses participantes tinham ensino médio completo (38,89%), 5 eram graduados (27,78%) e 6 eram pós-graduados (33,33%). Em relação à frequência com que jogavam em *smartphones*, 4 participantes do PD jogavam diariamente (22,22%), 6 jogavam frequentemente (33,33%), 4 jogavam eventualmente (22,22%) e 4 jogavam raramente (22,22%). O outro perfil de participantes, PVT (participantes com visão típica de cores), foi composto por 32 pessoas, sendo 15 do sexo feminino, 15 do sexo masculino e 2 não-binárias. Em relação à formação, 7 desses participantes tinham ensino médio completo (21,88%), 15 eram graduados (46,88%) e 10 eram pós-graduados (31,25%). Em relação à frequência com que jogavam em *smartphones*, 8 participantes jogavam diariamente (25%), 5 jogavam frequentemente (15,62%), 11 jogavam eventualmente (34,37%) e 8 jogavam raramente (25%).

O questionário ficou disponível para respostas de 25 a 30 de janeiro de 2023. Os participantes foram recrutados aleatoriamente por meio de divulgações *online*. No entanto, metade dos participantes de PD foi convidada por conveniência devido à sua disponibilidade mais escassa. Os participantes convidados, entretanto, participaram da pesquisa por vontade própria e nenhum tipo de compensação foi oferecida.

4.1.2.2 Material

O experimento foi aplicado por meio de um questionário *online* criado com o *Google Forms*. O questionário foi dividido em 4 partes: (1) termo de consentimento livre e esclarecido; (2) teste de visão de cores; (3) perfil demográfico; e (4) uma categorização de imagens. Após o preenchimento do termo de consentimento e passar no teste de visão de cores,

o perfil demográfico coletou os seguintes dados de cada participante: idade, gênero, nível de escolaridade, frequência com que jogavam jogos para celular e se já tiveram experiência com desenvolvimento de jogos. A quarta e última parte do questionário apresentou a atividade experimental e está detalhadamente descrita em 4.1.2.3.

A imagens utilizadas no experimento foram criadas usando *assets* do protótipo de jogo desenvolvido para o experimento EXP2, editadas com o programa *Adobe Photoshop* e animadas utilizando os programas *Game Maker Studio 2* e *Adobe Photoshop*. Por fim, as versões das imagens com simulações de protanopia e deuteranopia foram criadas utilizando os filtros fornecidos pelo programa *Adobe Photoshop*.

4.1.2.3 Procedimento

Após coletar o consentimento, realizar o teste de visão de cores e coletar os dados demográficos dos participantes, o questionário apresentou três grupos de imagens animadas. Cada um dos grupos era composto por quatro versões da mesma imagem que diferiam entre si apenas pela cor (vermelho, azul, amarelo ou verde) de um elemento³. A ordem das imagens em cada um dos três grupos era apresentada aleatoriamente para evitar qualquer viés que pudesse ser gerado pela ordenação das imagens. As imagens foram elaboradas a partir de *assets* do jogo criado para o experimento EXP2, para representar três situações comumente encontradas em jogos: (1) uma alteração na força do personagem desencadeada pela coleta de um artefato; (2) uma mudança no estado de saúde do personagem; e (3) o encontro de um Personagem não jogável (PNJ). Essas três situações foram escolhidas com base nos resultados de uma análise de estados visuais de personagens em jogos populares de plataformas móveis (PINHEIRO *et al.*, 2022).

As imagens do primeiro grupo de questões mostravam o personagem principal caminhando e coletando um pequeno objeto circular branco, que transformava seu corpo inteiro em uma das cores testadas. Para cada uma dessas imagens, os participantes deviam categorizar as mudanças de estado do personagem como ficando "mais forte" ou "mais fraco". Além disso, uma terceira opção, "sem alteração", estava disponível, para quando os participantes não pudessem ver a mudança na aparência do personagem.

Em seguida, as imagens do segundo grupo de questões mostravam o personagem

³ As imagens animadas utilizadas no estudo S3 podem ser baixadas em https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1k3FdGs_5AT98Mft91Dj793faxeJo_Sdz

principal andando e tendo a cor da sua pele alterada. Para essas imagens, os participantes poderiam categorizar essas mudanças de estado do personagem como representando um efeito "positivo" ou "negativo" na saúde do personagem. Além disso, a opção "sem alteração" também estava disponível, para quando os participantes não pudessem ver nenhuma alteração na aparência do personagem.

Por fim, as imagens do terceiro grupo mostravam o personagem principal caminhando em direção a um PNJ. Nessas imagens, os participantes deveriam julgar o PNJ como um personagem "aliado", "inimigo" ou "neutro", apenas pela cor da sua capa.

Ao terminar de categorizar as imagens, os participantes deveriam confirmar o envio das suas respostas para finalizar o experimento.

4.1.3 Análise dos resultados

Com a aplicação dos experimentos EXP2 e EXP3, os dados gerados foram analisados à luz das questões da pesquisa citada na introdução deste documento.

Em EXP2, foi realizada uma análise quali-quantitativa. Com todos os dados coletados, os dados quantitativos foram organizados em uma planilha e as entrevistas foram transcritas para a análise qualitativa. A eficácia na identificação de problemas de acessibilidade cromática de cada um dos participantes foi calculada dividindo o número de problemas controlados identificados pelo número 5, que é a quantidade de problemas controlados inseridos no protótipo. O teste T de *Student* foi aplicado para verificar se houve relação significativa entre os perfis e as taxas de eficácia (resultados positivos foram considerados com valor- $p < 0,05$). Alguns participantes também registraram problemas que não estavam na lista controlada. A relação entre a frequência de registro de problemas extras foi testada através de um teste exato de Fisher, devido ao tamanho da amostra. O teste exato de Fisher também foi aplicado para verificar a dependência entre o perfil e a frequência de identificação de cada um dos 5 problemas controlados. Os dados dos questionários BRUMS foram comparados de forma a identificar possíveis tendências de mudança no estado de humor dos participantes antes e depois do experimento. Os dados qualitativos coletados pela entrevista foram submetidos a uma análise temática através do levantamento de temas recorrentes e comparados com os dados quantitativos. Os resultados de EXP2 são apresentados na Seção 4.2.

Em EXP3, a análise dos dados foi primariamente quantitativa. Os resultados de cada uma das 12 imagens (4 de cada grupo) foram organizados em tabelas de contingência 2x3

e um teste exato de Fisher foi executado para verificar a dependência entre perfis e respostas. Resultados positivos foram considerados com valor- $p < 0,05$. Além disso, comentários espontâneos deixados pelos participantes foram considerados na análise e discussão dos resultados. Os resultados de EXP3 são apresentados na Seção 4.3.

Por fim, os resultados alcançados nesta etapa foram triangulados com os resultados da Etapa 2 e discutidos à luz da literatura (Capítulo 5).

4.2 Resultados do Experimento 2 (EXP2): Identificação de problemas de acessibilidade cromática

Os resultados deste experimento mostram que os desenvolvedores iniciantes de jogos que utilizaram simulações de daltonismo (perfil DEV) registraram uma eficácia média mais alta (48%) na detecção de problemas de acessibilidade controlados no protótipo do jogo do que os participantes com daltonismo (perfil JD) (32%). O teste *t-Student* mostrou que a diferença entre a eficácia de ambos os perfis na identificação desses problemas foi significativa ($t = -2,7953$, $df = 22,59$, valor- $p = 0,01039$). No entanto, alguns participantes de ambos os perfis detectaram problemas extras e fizeram sugestões de melhorias fora do grupo controlado de problemas (Tabela 9). Isso foi mais comum em JD, onde 80% dos participantes detectaram problemas extras, do que em DEV, onde apenas 33,33% detectaram problemas extras (valor- $p < 0,05$, de acordo com o teste exato de Fisher). O número médio de problemas, combinando problemas controlados e extras, detectados por ambos os perfis é comparável (3,1 para JD e 3,0 para DEV), como suportado pelos resultados do teste *t-Student* ($t = 0,21343$, $df = 22,83$, valor- $p = 0,832$).

As percepções gerais sobre as cores dos jogos foram coerentes entre os dois perfis de participantes. Durante as entrevistas, os participantes de DEV descreveram o jogo como divertido, intuitivo e fácil de jogar e afirmaram que as regras eram simples **quando não estavam usando filtros de daltonismo**. No entanto, quando percebido através dos filtros, eles acharam o jogo monocromático e pouco atraente e argumentaram que as cores eram confusas. "*Sem a simulação de daltonismo, era legal; é um jogo divertido. As cores são intensas, o que é atraente. Quando você olha para ele através da simulação, não é tão atraente porque todas as cores parecem iguais*", afirmou DEV14. De forma similar, os participantes dentro do grupo JD acharam o jogo escuro, sem contraste e pouco atraente. Por exemplo, "*o jogo seria mais agradável e menos estressante se as cores fossem mais brilhantes*", como afirmou JD2.

Os seguintes resultados são apresentados para cada um dos 5 problemas de acessibi-

Tabela 9 – Problemas controlados e extras registrados em EXP2

| | Problemas controlados registrados | | | | | Problemas controlados registrados | Problemas extras registrados | Total de problemas registrados |
|----------------------------|-----------------------------------|----|----|----|----|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | | | |
| JD1 | ✓ | | | | | 1 | 2 | 3 |
| JD2 | | ✓ | | | | 1 | 4 | 5 |
| JD3 | ✓ | ✓ | | | | 2 | 1 | 3 |
| JD4 | | ✓ | | ✓ | | 2 | 1 | 3 |
| JD5 | | ✓ | ✓ | | | 2 | 1 | 3 |
| JD6 | | ✓ | | | | 1 | 3 | 4 |
| JD7 | ✓ | ✓ | | | | 2 | 0 | 2 |
| JD8 | | ✓ | | | | 1 | 1 | 2 |
| JD9 | ✓ | ✓ | | | | 2 | 1 | 3 |
| JD10 | | ✓ | | | ✓ | 2 | 1 | 3 |
| <i>Média do perfil JD</i> | | | | | | 1,6 | 1,5 | 3,1 |
| DEV1 | ✓ | ✓ | | | ✓ | 3 | 0 | 3 |
| DEV2 | ✓ | ✓ | | | | 2 | 0 | 2 |
| DEV3 | | ✓ | | | | 1 | 0 | 1 |
| DEV4 | ✓ | | | | | 1 | 0 | 1 |
| DEV5 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | 4 | 2 | 6 |
| DEV6 | ✓ | ✓ | | | | 2 | 0 | 2 |
| DEV7 | ✓ | ✓ | | | | 2 | 2 | 4 |
| DEV8 | ✓ | ✓ | | | | 2 | 0 | 2 |
| DEV9 | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | 4 | 0 | 4 |
| DEV10 | ✓ | ✓ | | | | 2 | 0 | 2 |
| DEV11 | ✓ | ✓ | | | | 2 | 0 | 2 |
| DEV12 | ✓ | ✓ | | ✓ | | 3 | 1 | 4 |
| DEV13 | ✓ | ✓ | | | | 2 | 2 | 4 |
| DEV14 | ✓ | ✓ | ✓ | | | 3 | 2 | 5 |
| DEV15 | ✓ | ✓ | | | ✓ | 3 | 0 | 3 |
| <i>Média do perfil DEV</i> | | | | | | 2,4 | 0,6 | 3,0 |

Fonte: elaborado pelo autor.

idade controlados inseridos no protótipo do jogo utilizado nos testes (Tabela 7), ordenados do mais registrado ao menos registrado.

4.2.1 *Contraste insuficiente entre inimigo e partes do plano de fundo (P2)*

O problema P2 foi registrado por 9 participantes (90%) de JD e 13 participantes (87%) de DEV, totalizando 22 de 25 participantes de ambos os perfis. Os resultados do teste exato de Fisher não indicam correlação entre o perfil do participante e o registro desse problema (valor-p > 0,05), o que significa que não houve diferença entre os perfis em relação à frequência de identificação desse problema. Nas entrevistas, participantes de ambos os perfis descreveram o problema de maneira semelhante e os participantes de DEV destacaram que esse problema

era mais grave na simulação deutan. Em geral, os participantes relataram que o baixo contraste prejudicou a experiência, mesmo quando ainda era possível detectar o inimigo. Essa dificuldade na visualização gerou aumento de carga cognitiva que, especialmente em situações de estresse, prejudicaram o desempenho de alguns participantes. Em relação a isso, JD9 afirmou que *"conseguiu visualizar o inimigo, mas o baixo contraste de alguma forma atrasou o tempo de reação"*. Os participantes de JD também destacaram que a animação os ajudou a reconhecer o inimigo mesmo em situações de baixo contraste, e.g., *"Se o monstro ficasse parado, seria muito mais difícil vê-lo"*(JD3). Em relação aos participantes de DEV, os únicos que não registraram esse problema na fase de avaliação (DEV4 e DEV9) reconheceram-no durante as entrevistas. DEV9, por exemplo, disse que o inimigo não era claramente visível em uma das simulações, mas *"não registrou como um problema porque parecia irrelevante durante o jogo, pois ainda era possível entendê-lo como um inimigo"*.

4.2.2 Objetos com efeitos opostos sendo diferenciados por cor (P1)

Este problema, exemplificado no protótipo pelas duas frutas de cores diferentes, sendo uma boa e a outra estragada, foi registrado por 4 participantes (40%) de JD e 14 participantes (93%) de DEV (18 de um total de 25 participantes). Os resultados do teste exato de Fisher **confirmam** uma correlação entre o perfil do participante e o registro desse problema (valor-p < 0,05), o que significa que mais participantes DEV puderam registrar o problema de diferenciação de frutas do que participantes JD. Nas entrevistas, os participantes de JD relataram diferentes níveis de dificuldade em diferenciar os dois tipos de frutas pela cor. Alguns pensaram que *"as frutas eram muito distintas"*, enquanto outros pensaram que *"era possível distinguir entre as duas cores de frutas, mas, com pressa, elas poderiam ser facilmente confundidas"*. Participantes de DEV consideraram que esse problema afetou muito a jogabilidade, e.g., *"(ao não poder discernir as frutas,) você está perdendo uma grande parte do jogo"*(DEV2). Participantes de ambos os perfis destacaram o desafio não apenas de diferenciar as frutas, mas também de memorizar seu significado, já que elas aparecem com matiz semelhante, apenas com brilho ligeiramente diferente, e.g., *"a princípio, você poderia identificar a diferença, mas fica mais difícil porque há muita repetição que pode confundir o usuário"*(DEV10). Também foi afirmado que o estresse (que pode ser facilmente causado pelo aumento do nível de dificuldade nos desafios de um jogo) pode tornar a diferenciação das frutas ainda mais difícil, e.g., *"eu estava muito preocupado com as frutas ruins, mas, quando fui atingido por um inimigo, esqueci tudo e peguei"*

a errada"(JD7). Além disso, foi apontado pelos participantes de ambos os perfis que parte da confusão aconteceu porque a fruta que aparecia mais brilhante era percebida como tendo um efeito positivo na jogabilidade, o que não era verdade, e.g., "*a pior parte é que a fruta que deveria ser ruim aparecia mais brilhante (nas simulações)*"(DEV11).

4.2.3 Mudança no estado do personagem indicada por cor (P5)

Este problema foi registrado por apenas um participante (10%) de JD e 3 participantes (20%) de DEV (4 de um total de 25 participantes). Os resultados do teste exato de Fisher não suportam uma correlação entre o perfil do participante e o registro deste problema (valor- $p > 0,05$), o que significa que não houve diferença significativa entre os perfis em relação à frequência de identificação desse problema. A maioria dos participantes de JD (70%) não conseguiu ver a mudança visual no personagem principal quando ele entra no estado de enjoo, mesmo quando o *feedback* visual foi apontado no contexto da entrevista. A única mudança notada por esses participantes foi a diminuição da velocidade de movimentação do personagem, entretanto, isso não foi visto como *feedback* suficiente, e.g., "*you não sabe quando entra neste estado e quanto tempo dura*", (JD10). Sem um *feedback* visual claro, alguns participantes não conseguiram conectar o ato de pegar uma fruta ruim com a desaceleração do personagem, e.g., "*eu peguei muitas frutas ruins antes de entender que elas me deixaram mais lento*"(JD3). Outros participantes de JD (30%) pensaram que o efeito de desaceleração estava relacionado ao ambiente, e.g., "*eu pensei que estava pisando em algum tipo de lama*"(JD2). Por outro lado, a maioria dos participantes de DEV que não registraram esse problema durante o experimento reconheceram-no durante a entrevista. Alguns não prestaram atenção ao *feedback* do jogo ao avaliar com as simulações (e.g. "*eu teria registrado se tivesse visto na hora*", disse DEV5), e alguns nem sequer pegaram uma fruta ruim para ver o que aconteceria. Alguns participantes também perceberam o problema, mas pensaram que a desaceleração do personagem era suficiente para informar o usuário sobre seu estado, e.g., "*(o personagem) já desacelerou, certo?*" (DEV13).

4.2.4 Feedback de dano dado através de cor (P4)

Este problema foi registrado por apenas um sujeito (10%) do grupo JD e por 3 sujeitos (20%) do grupo DEV (4 de um total de 25 sujeitos). Os resultados do teste exato de Fisher não suportam uma correlação entre o perfil do sujeito e o registro desse problema (valor de $p > 0,05$), o que significa que não houve diferença significativa entre os perfis em relação

à frequência na identificação desse problema. Nas entrevistas, a maioria dos participantes do grupo JD não conseguiu lembrar e descrever o flash vermelho de tela cheia, e.g., "*Só consigo lembrar que o personagem deu um pulo para trás*"(JD7). O mesmo aconteceu com JD9, mas ele teve uma interpretação mais positiva, afirmando que "*não lembrar é uma boa indicação de que o feedback não está ocupando muito espaço no jogo*". A maioria dos participantes do grupo DEV concordou na entrevista que o *feedback* era pouco visível com as simulações. Ainda assim, muitos argumentaram que os outros estímulos visuais apresentados na tela (pulo para trás e exibição de vida através do coração no canto superior esquerdo) eram suficientes para informar o jogador sobre o dano sofrido.

4.2.5 Indicador de vida com pouco contraste com o plano de fundo (P3)

Este problema foi relatado por apenas um participante (10%) de JD e 3 participantes (20%) de DEV (4 de um total de 25 participantes). Os resultados do teste exato de Fisher não suportam uma correlação entre o perfil do participante e o registro deste problema (valor de $p > 0,05$), o que significa que não houve diferença significativa entre os perfis em relação à frequência na identificação desse problema. Alguns participantes de ambos os perfis tiveram dificuldade em visualizar o indicador de vida no início da partida porque ele tinha a mesma cor do fundo em seu primeiro estado, e.g., "*Só prestei atenção nele depois de receber danos*"(DEV15). Um participante de JD afirmou que "*o indicador de vida está na mesma cor das frutas estragadas; isso pode ser confuso*". Alguns participantes de ambos os perfis destacaram que a borda escura no ícone do coração ajudou na visualização, apesar das dificuldades oferecidas pelas cores utilizadas.

4.3 Resultados do Experimento 3 (EXP3): Percepção de cores e significados

Os resultados a seguir estão divididos por cada atributo de personagem investigado e resumidos na Tabela 10. As imagens utilizadas nesse experimento são animadas e, por isso, não foram inseridas neste documento. Para consultá-las, acesse o link: <https://bit.ly/dissertacao-materiais>

Tabela 10 – Resultados do questionário de significados de cores em jogos de EXP3 para os perfis PD (participante com daltonismo) e PVT (participante com visão típica).

| | Amarelo | | Azul | | Verde | | Vermelho | |
|--------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|
| | PD | PVT | PD | PVT | PD | PVT | PD | PVT |
| Força | | | | | | | | |
| Mais forte | 55,56 | 21,88 | 33,33 | 68,75 | 44,44 | 21,88 | 50,00 | 28,13 |
| Mais fraco | 38,89 | 40,63 | 66,67 | 21,88 | 55,56 | 46,88 | 50,00 | 62,50 |
| Sem mudança | 5,56 | 37,50 | 0,00 | 9,38 | 0,00 | 31,25 | 0,00 | 9,38 |
| Saúde | | | | | | | | |
| Positivo | 33,33 | 9,38 | 16,67 | 21,88 | 16,67 | 18,75 | 11,11 | 12,50 |
| Negativo | 66,67 | 62,50 | 83,33 | 78,13 | 83,33 | 25,00 | 88,89 | |
| Sem mudança | 0,00 | 28,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 56,25 | 0,00 | 12,50 |
| PNJ | | | | | | | | |
| Aliado | 22,22 | 59,38 | 38,89 | 50,00 | 61,11 | 56,25 | 16,67 | 9,38 |
| Inimigo | 5,56 | 6,25 | 27,78 | 31,25 | 11,11 | 3,13 | 77,78 | 71,88 |
| Neutro | 72,22 | 34,38 | 33,33 | 18,75 | 27,78 | 40,63 | 5,56 | 18,75 |

Fonte: elaborado pelo autor.

4.3.1 Força

Em cada um dos quatro casos, os participantes tiveram que categorizar o estado do personagem após a transição visual como "mais forte", "mais fraco" ou "sem mudança". As mudanças de cor foram amplamente percebidas pelos participantes daltônicos (PD). No entanto, alguns participantes com visão típica (PVT) não acharam que as mudanças eram suficientemente perceptíveis nas simulações, especialmente com a transição para amarelo (37,5%) e para verde (31,25%). A mudança para amarelo foi interpretada como ficando mais forte por mais da metade dos participantes de PD (55,55%), mas apenas por 21,88% dos participantes de PVT. A cor azul também teve resultados divergentes, onde 66,67% dos participantes de PD responderam "mais fraco", enquanto 68,75% dos participantes de PVT escolheram "mais forte". No caso do verde, 55,56% dos participantes de PD e 46,88% dos participantes de PVT escolheram "mais fraco", no entanto, quase a mesma quantidade de participantes de PD (44,44%) escolheu a opção "mais forte". Por último, enquanto a cor vermelha dividiu igualmente os participantes de PD entre "mais forte" e "mais fraco", mais da metade dos participantes PVT (62,5%) escolheram "mais fraco". Aplicando o teste exato de Fisher a esses dados, os casos amarelo, azul e verde apresentaram dependência (valor-p < 0,05) entre os perfis dos participantes e o significado associado à mudança de cor, o que significa que diferentes perfis têm interpretações diferentes de como a mudança de cor impacta a força do personagem, para essas três cores.

4.3.2 *Saúde*

Em cada um dos quatro casos, os participantes tiveram que categorizar a transição do estado do personagem como "positivo", "negativo" ou "sem mudança". Nenhum dos participantes de PD escolheu a opção "sem mudança" em nenhum dos casos. No entanto, muitos participantes de PVT apresentaram dificuldades em perceber a mudança de cor com as simulações, principalmente nos casos amarelo (28,13%) e verde (56,25%). O amarelo foi considerado uma mudança positiva na saúde do personagem por mais da metade de PD (66,67%) e de PVT (62,50%). Já o azul foi percebido como negativo pela maioria dos participantes de PD (83,33%) e PVT (78,13%). No caso verde, a mudança de cor foi interpretada como negativa pela maioria de PD (83,33%), mas apenas por 25% de PVT. Por fim, o vermelho foi percebido principalmente como negativo por ambos os perfis (88,89% de PD e 75% de PVT). Aplicando o teste exato de Fisher a esses dados, apenas o caso amarelo apresentou dependência (valor-p < 0,05) entre os perfis dos participantes e o significado associado à mudança de cor, o que significa que diferentes perfis têm diferentes interpretações de como a mudança de cor impacta a percepção da saúde do personagem apenas no caso amarelo.

4.3.3 *Papel narrativo de Personagem Não-Jogável (PNJ)*

Em cada um dos quatro casos, os participantes tiveram que categorizar o PNJ como "aliado", "inimigo" ou "neutro". A versão amarela do PNJ foi considerada um personagem neutro por mais da metade de PD (72,22%), enquanto participantes de PVT se dividiram entre "neutro" (34,38%) e "aliado" (59,38%). A versão azul teve interpretações mistas sem preferência clara em nenhum dos perfis. A versão verde teve resultado próximo ao da versão amarela para PVT, com respostas divididas entre "neutro" (40,63%) e "aliado" (56,25%). No entanto, PD interpretou o verde principalmente como um aliado (61,11%). Por fim, o PNJ vermelho foi interpretado como inimigo pela maior parte de PD (77,78%) e PVT (71,88%). Aplicando o teste exato de Fisher a esses dados, apenas o caso amarelo apresentou dependência (valor-p < 0,05) entre os perfis dos participantes e o significado associado à cor, o que significa que diferentes perfis têm diferentes interpretações de como a cor impacta a percepção do papel do personagem apenas no caso amarelo.

4.4 Conclusão

Neste capítulo, foram relatados os resultados dos dois experimentos (EXP2 e EXP3) conduzidos durante a Etapa 3 desta pesquisa. A Seção 4.2 detalhou os resultados de EXP2, que contou com 25 participantes (sendo 10 jogadores com daltonismo) e comparou a identificação de problemas de acessibilidade cromática pré-estabelecidos em um protótipo de jogo por jogadores com daltonismo e por desenvolvedores iniciantes de jogos utilizando simulações de daltonismo. Resultados apontam para vantagens no uso de simulações de daltonismo para identificar problemas de acessibilidade cromática ao mesmo tempo que reforçam a importância de testes com jogadores com daltonismo. Em seguida, a Seção 4.3 apresentou os resultados de EXP3, que contou com 50 participantes (sendo 18 participantes com daltonismo) e investigou a interpretação de significados de cores por pessoas com daltonismo e por pessoas com visão típica utilizando simulações de daltonismo. Resultados apresentam divergências entre as interpretações dos dois perfis e apontam para a importância do brilho da cor na atribuição de significado.

Os resultados apresentados neste capítulo, bem como os apresentados previamente neste documento, são discutidos no Capítulo 5.

5 DISCUSSÃO

O presente capítulo discute os principais resultados obtidos nesta pesquisa, considerando os conhecimentos gerados nas Etapas 1, 2, e 3 da metodologia. Primeiro, a Seção 5.1 apresenta potenciais vantagens do uso de simulações de daltonismo integradas ao processo de criação de jogos. A Seção 5.2, por sua vez, traz reflexões sobre as limitações da comunicação realizada através das cores. Em seguida, a Seção 5.3, discorre sobre o uso de diferentes modalidades de simulação em diferentes atividades e estágios do desenvolvimento de jogos. Por fim, a Seção 5.4 tece as conclusões do capítulo.

As discussões apresentadas neste capítulo foram reportadas em um artigo chamado "*Why should red and green never be seen? Exploring color blindness simulations as tools to create chromatically accessible games*", aceito pela conferência **ACM CHI Play 2023**, sendo publicado em **Proceedings of the ACM on Human Computer Interaction (PACMHCI)**.

5.1 Quando os desenvolvedores têm vantagem na identificação de problemas de acessibilidade cromática

A criação de jogos cromaticamente acessíveis para dispositivos móveis apresenta desafios para designers e desenvolvedores com visão de cores típica. Por mais que a perspectiva do design participativo seja uma possibilidade rica e detalhada (LÓPEZ; MEDINA, 2021), ela nem sempre é viável, principalmente em pequenos estúdios com ciclos de desenvolvimento curtos e orçamentos baixos (KLIUCH, 2022). Por outro lado, o uso de simulações em um processo de desenvolvimento muitas vezes não é bem recebido devido ao risco de distanciar o design das necessidades dos usuários finais (BENNETT; ROSNER, 2019). No entanto, na tarefa de identificar problemas de acessibilidade cromática em jogos, ferramentas de simulação de daltonismo não só podem ser incluídas juntamente com práticas de design participativo, como também podem trazer vantagens em comparação a apenas realizar pesquisas com jogadores com daltonismo.

As simulações de daltonismo permitem que designers e desenvolvedores com visão de cores típica identifiquem pontos no jogo em que a cor está sendo usada como principal fonte de informação (1.4.1 no WCAG), o que é considerado o principal problema enfrentado por jogadores daltônicos (MOLINA-LÓPEZ; MEDINA-MEDINA, 2019). Esse fato foi corroborado pelos resultados do EXP1, em que todos os participantes identificaram como a cor era essencial

para a mecânica principal do jogo, o que impossibilitava a jogabilidade para daltônicos. Esse resultado é especialmente relevante porque os participantes do EXP1 desenvolveram o jogo avaliado. Isso demonstra como recursos inacessíveis em relação às suas cores podem passar despercebidos ao longo do processo de desenvolvimento do jogo, se a acessibilidade não for devidamente abordada. Os resultados do EXP2 também corroboram essa afirmação, pois quase todos os desenvolvedores (93%) identificaram o problema de dois objetos com efeitos opostos que só poderiam ser diferenciados pela cor. Nesse caso, o problema não impedia a finalização da partida, mas os jogadores daltônicos teriam a desvantagem de ter que diferenciar os objetos apenas por meio de uma mudança sutil no brilho da cor.

Além disso, o uso de simulações de daltonismo não se limita a identificar os problemas mais óbvios e que inviabilizam o *gameplay*. Os resultados do EXP1 mostram que profissionais com maior nível de experiência, e com conhecimento mais desenvolvido de IHC e acessibilidade, podem realizar uma análise mais aprofundada. Os participantes com mais anos de experiência conseguiram identificar até 91% dos problemas catalogados na fase de inspeção. Isso pode ser potencializado combinando o uso da simulação com *guidelines* de acessibilidade, *checklists* (LARREINA-MORALES, 2023) ou até opções mais específicas com uma lista de proto-padrões de design para jogos cromaticamente acessíveis (MOLINA-LÓPEZ; MEDINA-MEDINA, 2019).

A possibilidade de comparar facilmente os efeitos de diferentes tipos de daltonismo também é uma vantagem do uso de simulações. Isso é corroborado pelos resultados do EXP2, que indicaram que a eficácia na identificação de problemas de acessibilidade cromática de desenvolvedores de jogos iniciantes usando as simulações foi maior do que a de participantes daltônicos. Esse resultado pode ser ilustrado observando os dois principais problemas controlados (P1 e P2) inseridos no protótipo do jogo desenvolvido para EXP2. Enquanto apenas 30% dos participantes com daltonismo registraram ambos os problemas simultaneamente, a maioria dos desenvolvedores iniciantes (80%) conseguiu identificar e registrar ambos os problemas usando a simulação. É possível que isso tenha acontecido porque P1 parecia mais desafiador para tipos protan de daltonismo, enquanto P2 parecia mais desafiador para tipos deutan de daltonismo. Assim, os participantes com daltonismo podiam experienciar com mais intensidade apenas um dos problemas, enquanto os desenvolvedores tinham a facilidade de apenas mudar o filtro na simulação para identificá-los.

Também é importante notar que, às vezes, os problemas de acessibilidade serão

completamente invisíveis para jogadores com daltonismo. Inclusive, podem passar despercebidos em uma avaliação caso os desenvolvedores não estejam cientes dessa possibilidade. Os resultados de EXP2 mostram que os problemas controlados inseridos nos *feedbacks* visuais do jogo (P4 e P5) foram mais difíceis de identificar no teste e foram facilmente ignorados tanto pelos jogadores com daltonismo, quanto pelos desenvolvedores utilizando as simulações. Isso pode ser um reflexo do fato de que esses estímulos visuais nem sempre são visíveis na tela, dificultando seu registro em um contexto de avaliação de interface, principalmente com avaliadores mais inexperientes. No entanto, P5 merece destaque. Esse problema acontecia quando o personagem principal coletava uma fruta estragada, que não só o desacelera como também deixa seu rosto verde para mostrar ao jogador que está enjoado. A maioria dos jogadores com daltonismo não conseguia perceber a mudança de cor no rosto do personagem, mesmo quando apontada na entrevista. Essa falta de *feedback* visual fez até com que alguns participantes tentassem associar o efeito retardador desencadeado pela fruta estragada a causas inexistentes (por exemplo, participantes sugeriram que poderia existir algum tipo de lama no solo), mas apenas um dos participantes com daltonismo registrou ou mencionou em entrevistas que essa situação carecia de *feedback* visual. Assim, as simulações de daltonismo podem dar aos designers e desenvolvedores a vantagem de comparar as imagens filtradas com sua própria visão de cores típica, algo que os jogadores com daltonismo não podem fazer.

5.2 Quando matiz não significa nada

Um dos principais problemas encontrados em jogos digitais por pessoas com daltonismo é a dificuldade em perceber informações que são representadas apenas pela cor (MOLINA-LÓPEZ; MEDINA-MEDINA, 2019). Isso é comumente discutido em diretrizes de acessibilidade publicadas pela academia e pela indústria (LARREINA-MORALES, 2023). No entanto, as cores são utilizadas em jogos não apenas para transmitir informações importantes, mas também podem carregar um significado específico associado a elas.

Chegar a um consenso sobre o significado da cor nos jogos é uma tarefa complexa, pois esses significados são formados a partir de vários fatores, como a forma como a cor é percebida fisicamente pelo jogador, o contexto do jogo em que é apresentada, aspectos culturais e até experiências anteriores do jogador (ELLIOT; MAIER, 2012). Dessa forma, usar simulações de daltonismo para avaliar o significado das cores pode ser difícil porque a experiência e as referências de uma pessoa com visão de cores típica são diferentes daquelas de uma pessoa com

daltonismo. Isso se torna aparente nos resultados do EXP3, em que jogadores com daltonismo e jogadores com visão de cores típica utilizando simulação tenderam a interpretar significados opostos para a cor utilizada na imagem (e.g., caso azul no contexto de força do personagem). Também é perceptível que, enquanto amarelo e verde (cores que aparecem quase idênticas nas simulações) tiveram resultados consistentes na categorização para os participantes com visão típica, essas cores tiveram resultados contrastantes para os participantes com daltonismo. Isso pode apontar para essa heterogeneidade na forma como as cores são percebidas, mesmo por indivíduos com o mesmo tipo de daltonismo, devido aos níveis de intensidade variados.

Por outro lado, o brilho e a saturação da cor podem ser mais relevantes para atribuir significado, em certos casos, do que o matiz. É possível perceber que cores mais claras foram mais associadas a significados positivos enquanto cores mais escuras tenderam a ser interpretadas como negativas. Esse padrão pode ser observado em EXP3 com a cor vermelha, que aparece como um cinza escuro nas simulações protan e deutan, frequentemente associada a significados negativos (opções "mais fraco", "negativo", "inimigo" do questionário) em todas as três tarefas por ambos os perfis participantes. O mesmo efeito não foi tão prevalente na cor azul (outra cor mais escura usada no teste), possivelmente porque essa cor não é fortemente afetada pelo daltonismo protan e deutan. Essa associação de significado por meio do brilho da cor também apareceu em EXP2, quando os participantes de ambos os perfis associaram as frutas que pareciam mais claras como boas e as mais escuras como ruins, gerando confusão e erros durante o *gameplay*. Essas observações corroboram as descobertas de Geslin *et al.* (2016), que definiram um modelo baseado em experimento que leva em consideração mais o brilho e a saturação das cores para definir significados do que o matiz em si.

Para comunicar mais claramente o papel ou estado de um personagem, a manipulação do brilho das cores também pode ser combinada com outros padrões independentes de cores. Esses podem ser identificados por meio da análise do design dos personagens em jogos para dispositivos móveis (PINHEIRO *et al.*, 2022). Alguns dos padrões mais relevantes são o uso da variação de tamanho para denotar a força do personagem e o uso de formas mais geométricas e pontiagudas para caracterizar inimigos.

No entanto, é importante ter em mente que, embora pessoas diferentes tenham vieses diferentes na interpretação do significado das cores, um bom design de interface de jogo deve ser capaz de ensinar aos jogadores o significado correto de seus elementos visuais, mesmo quando colocados em contraste total à sua interpretação mais comum.

5.3 Quando a hora certa para utilizar cada abordagem chega

Existem diversas barreiras para a implementação de designs acessíveis em um ambiente de desenvolvimento de jogos. Elas podem variar desde a falta de tempo suficiente para focar na acessibilidade – logo, não pensar sobre a acessibilidade como uma prática do estúdio – até a falta de ferramentas de desenvolvimento úteis e simplesmente a falta de informações sobre como projetar para acessibilidade (KLIUCH, 2022). Assim, as simulações de daltonismo têm o potencial de mitigar alguns desses problemas, pelo menos quando se trata de acessibilidade cromática.

As simulações de daltonismo foram exploradas em três plataformas diferentes: tela de *desktop*, realidade aumentada e tela de dispositivo móvel. Os resultados de EXP1 e EXP2 indicam que cada um desses tipos de simulação é mais adequado para diferentes atividades e etapas do processo de design do jogo, para criar um fluxo de trabalho mais simplificado. A Tabela 11 mostra como diferentes estágios do ciclo de vida comum de desenvolvimento de um jogo (RAMADAN; WIDYANI, 2013) podem se beneficiar da participação de usuários daltônicos (LÓPEZ; MEDINA, 2021) e do uso de simulações de daltonismo.

As simulações de *desktop* parecem ser mais adequadas para prototipagem de interface e criação de *assets* gráficos (estágios de pré-produção e produção), pois tanto o design quanto a verificação de problemas de acessibilidade cromática podem ser feitos no mesmo dispositivo, criando uma experiência mais confortável para desenvolvedores e designers. Além disso, muitos dos programas de design gráfico usados com frequência na indústria (e.g., Figma, Adobe XD, Adobe Photoshop) possuem simulações de daltonismo integradas ou são compatíveis com *plugins* como Stark, facilitando o uso das simulações já que o profissional não precisa ficar alternando entre diferentes programas durante as suas atividades e pode escolher o *software* com o qual se sente mais confortável. Além do baixo impacto no fluxo de trabalho, uma boa ferramenta de simulação deve fornecer meios para que o projetista compare facilmente as cores originais da interface com as simulações de diferentes tipos de daltonismo, facilitando a análise e a identificação de problemas.

A partir do momento em que protótipos interativos estiverem disponíveis (pré-produção, testes e estágios beta), o jogo pode começar a ser testado em seu dispositivo alvo. Simulações apresentadas diretamente na tela do *smartphone* podem estar disponíveis, como em dispositivos Android, por exemplo, que possuem simulações de daltonismo nativas no "modo desenvolvedor". Por outro lado, para dispositivos que não oferecem essa opção, as simulações

Tabela 11 – Contribuições da participação de jogadores daltônicos e de simulações de daltonismo em etapas do ciclo de vida de desenvolvimento de jogos

| Etapa | Atividades | Participação de jogador com daltonismo | Simulação de daltonismo |
|-----------------------|--|--|---|
| 1 Iniciação | - Concepção do jogo | - | - |
| 2 Pré-produção | - Conceito do <i>game design</i> - Teste de mecânicas através de protótipos | - Prover requisitos de sistema e acessibilidade - Prover <i>input</i> na mecânica | - Buscar por dependência de cores na mecânica principal |
| 3 Produção | - Desenvolvimento de arte, interface e código | - | - Buscar por problemas de acessibilidade cromática |
| 4 Testes | - Testes internos de usabilidade e jogabilidade - <i>Playtests</i> qualitativos e quantitativos | - Identificar problemas de acessibilidade cromática - Sugerir soluções | - Avaliar acessibilidade cromática - Guiar possíveis testes com jogadores com daltonismo |
| 5 Beta | - Testes abertos e fechados com jogadores - <i>Playtests</i> qualitativos e quantitativos | - Identificar problemas de acessibilidade cromática - Sugerir soluções | - Guiar testes com jogadores com daltonismo |
| 6 Release | - Lançamento - Documentação - Manutenção | - Prover <i>feedbacks</i> e ideias para novas versões, expansões ou <i>patches</i> | - |

Fonte: elaborado pelo autor.

de realidade aumentada são uma solução viável. EXP1 ainda mostrou que os testes feitos com esse tipo de simulação tiveram uma taxa de eficácia maior (em comparação com a simulação de *desktop*), possivelmente devido à experiência imersiva que ela proporciona. No entanto, a experiência de usar a simulação de realidade aumentada para atividades de design e avaliação de *gameplay* foi descrita como desconfortável e distrativa, devido ao uso de óculos de realidade virtual e ao complexo processo de configuração necessário para iniciar o uso da simulação.

Além disso o uso de simulações de daltonismo é potencializado quando combinado com diretrizes de acessibilidade, listas de padrões e listas de verificação. Os testes no *gameplay* realizados em EXP1 e EXP2 tiveram uma abordagem exploratória livre de tarefas com o objetivo de investigar o potencial de usar as simulações de daltonismo de forma isolada e por conta própria. No entanto, uma melhor orientação para ajudar os participantes a saber que tipo de problema procurar e onde encontrá-lo poderia ter ajudado a aumentar a taxa de eficácia. Essa

percepção é aparente em problemas como o *feedback* do estado de doença em EXP2, em que alguns desenvolvedores relataram não ter "prestado atenção" e não procuraram por problemas no *feedback* visual. Essa recomendação concorda com a experiência de Choo *et al.* (2019), que aplicou uma abordagem de avaliação semelhante com uma ferramenta de simulação de realidade aumentada com um conjunto filtrado de diretrizes para o contexto de deficiências derivadas de catarata.

Por outro lado, embora o uso de simulações de daltonismo tenha muito potencial e vantagens para o processo de criação de jogos, como qualquer outra técnica de avaliação, não garante que todos os problemas serão identificados (LAZAR *et al.*, 2017). Assim, as simulações não podem substituir a participação de jogadores com daltonismo. Em EXP2, embora os participantes com daltonismo pareçam ter um desempenho menos eficaz na identificação dos problemas controlados – provavelmente porque há muita variação em como cada participante percebe a cor mesmo com o escopo limitado ao daltonismo vermelho/verde (protan e deutan) – quase todos esses participantes (90%) fizeram observações e sugestões valiosas sobre outros aspectos da interface do jogo. Esse aspecto ilustra como as simulações podem ser usadas para identificar e minimizar problemas de acessibilidade cromática mais óbvios, deixando mais tempo para trabalhar com participantes com daltonismo e explorar problemas mais específicos e difíceis de identificar.

As simulações também podem ser uma ferramenta valiosa para planejar avaliações com jogadores daltônicos nas fases de teste e beta do ciclo de vida do desenvolvimento do jogo. Uma avaliação feita com simulações de daltonismo pela equipe de design pode ser usada para identificar possíveis áreas problemáticas e ajudar a criar tarefas e perguntas mais específicas a serem usadas nos testes de jogo. Isso pode ser útil especialmente com problemas que podem ser invisíveis para jogadores daltônicos e que não são constantemente apresentados na tela, como o *feedback* visual do estado de doença usado em EXP2.

Outra vantagem de incluir simulações de daltonismo no processo de design de jogos é o seu potencial de promover conscientização e debate sobre acessibilidade em equipes de desenvolvimento de jogos, como observado em EXP1 e EXP2, especialmente quando as simulações foram aplicadas a protótipos jogáveis. É possível que as discussões tenha sido iniciadas devido às barreiras impostas pelas simulações de daltonismo que parecem ter afetado a experiência dos participantes com visão típica de cores, que relataram ter que aumentar a concentração durante a partida ou até mesmo não serem capazes de alcançar um objetivo

proposto pelo jogo. Em ambos os estudos, os designers e desenvolvedores relataram estar impressionados com o impacto que o daltonismo poderia ter no jogo avaliado e estar motivados a incluir algum tipo de ferramenta de simulação de daltonismo em projetos futuros. Além disso, as simulações de daltonismo podem ser usadas para introduzir o tópico de acessibilidade às equipes de desenvolvimento de jogos, uma vez que os resultados indicam que até mesmo desenvolvedores sem experiência em acessibilidade podem ser capazes de identificar problemas de acessibilidade cromática em seus jogos e propor melhorias. Dessa forma, essa introdução poderia ajudar a resolver o problema relacionado aos desenvolvedores não saberem como introduzir o discurso de acessibilidade em seus estúdios de desenvolvimento de jogos, identificado por Kulik *et al.* (2021). Essa introdução também poderia levar a mais tempo sendo dedicado à pesquisa e mudança na cultura do estúdio, facilitando um maior investimento em acessibilidade.

5.4 Conclusão

Neste capítulo, foram discutidos os resultados deste trabalho, considerando os 3 experimentos aplicados e a análise comparativa de *guidelines* realizada. Além disso, as discussões apresentadas aqui foram contextualizadas com a literatura. A Seção 5.1 dissertou sobre as vantagens de utilizar simulações de daltonismo na identificação de problemas de acessibilidade cromática em jogos, destacando a possibilidade de uso das simulações mesmo com pouca experiência em IHC e acessibilidade, e como as simulações permitem a comparação entre a versão simulada e a versão original do jogo, facilitando a identificação de problemas de visualização de elementos da interface. Em seguida, a Seção 5.2 tratou do uso de cores, especialmente do matiz, como significante para informações importantes para o *gameplay*. Apesar do uso de cores para essa função ser claramente desencorajado pelas *guidelines*, destacou-se a importância da manipulação do brilho das cores, que pode ajudar não só na visualização dos elementos como também no reforço de significados positivos ou negativos. Por fim, a Seção 5.3 contextualizou o uso de simulações nas etapas do processo de design de jogos, considerando especialmente a possibilidade de combinação com pesquisas com jogadores com daltonismo.

As discussões relatadas neste capítulo serviram de base para a criação das recomendações apresentadas no Capítulo 6.

6 ETAPA 4: SÍNTESE DE RECOMENDAÇÕES

O presente capítulo apresenta o processo de criação, avaliação e o resultado final das recomendações propostas por este trabalho, com o objetivo de transmitir os conhecimentos discutidos no Capítulo 5 de forma simples, e de ajudar designers e desenvolvedores de jogos a integrar simulações de daltonismo no processo de criação de jogos para dispositivos móveis de forma alinhada à literatura e às necessidades da indústria. Para isto, a Seção 6.1 descreve a metodologia utilizada. A Seção 6.2 apresenta brevemente a primeira versão das recomendações e a sua estrutura inicial. Em seguida, a Seção 6.3 apresenta e discute os resultados de uma avaliação feita com 6 especialistas, resultando na versão final das recomendações (Seção 6.4). Por fim, a Seção 6.5 tece as conclusões do capítulo.

A versão final completa das Recomendações para o uso de simulações de daltonismo na criação de jogos cromaticamente acessíveis para dispositivos móveis pode ser lida no Apêndice A e a versão interativa pode ser acessada através do link: <http://bit.ly/recomendacoes-simulacoes>.

6.1 Metodologia

As discussões realizadas sobre os resultados da Etapa 4.1.3 (apresentadas no Capítulo 5) foram sintetizadas e organizadas em Recomendações para o uso de simulações de daltonismo na criação de jogos cromaticamente acessíveis para dispositivos móveis, visando contribuir para OE4.

Primeiro, foi criada uma versão inicial com 9 recomendações, descritas na Seção 6.2. Foi utilizada linguagem simples, apresentando exemplos e cenários ilustrativos, visando um público variado, incluindo designers e desenvolvedores que não possuem familiaridade com acessibilidade e IHC). Para maior alcance das recomendações, elas foram organizadas na plataforma Notion, que permite o uso de *hiperlinks* entre páginas e compartilhamento do conteúdo com todos através da *internet*.

6.1.1 Avaliação das recomendações

Para verificar a clareza e pertinência do conteúdo e a forma em que foi organizado e apresentado, foi realizada uma avaliação com profissionais da área de jogos. Assim, foram recrutados 6 profissionais de perfis variados (Tabela 12) por *Convenience Sampling*. Os participantes dessa avaliação ofereceram suas opiniões por vontade própria e nenhum tipo de compensação

Tabela 12 – Perfil de avaliadores da Etapa 4

| Avaliador | Escolaridade | Atuação |
|------------------|---------------------|--|
| AVA1 | Doutor | Professor na área de jogos |
| AVA2 | Doutorando | Pesquisador na área de jogos |
| AVA3 | Mestrando | Pesquisador na área de jogo |
| AVA4 | Mestrando | Pesquisador na área de jogos |
| AVA5 | Graduado | Designer de jogos (5 anos na indústria) |
| AVA6 | Graduando | Desenvolvedor de jogos (3 anos na indústria) |

Fonte: elaborado pelo autor.

foi oferecida pela participação.

A avaliação aconteceu de forma remota e assíncrona, através de um questionário *online* disponibilizado através de uma planilha do *Google Drive*¹. A planilha foi dividida em duas partes: (1) Avaliação individual das recomendações, e (2) Avaliação geral. Através da planilha, os avaliadores tiveram acesso à versão inicial das recomendações, já através da plataforma *Notion*.

Na primeira parte da avaliação, os participantes deveriam ler cuidadosamente cada uma das recomendações e responder à pergunta "Você concorda com o título e a descrição desta recomendação?". Para isso, eles poderiam escolher entre as opções "concordo", "concordo parcialmente", "discordo" e "remover esta recomendação". Além disso, os avaliadores tinham um espaço para sugestões de correções ou melhorias para cada uma das recomendações.

Já na segunda parte da avaliação, as recomendações foram avaliadas de forma geral através de 7 critérios: (1) Aplicabilidade, (2) Concretude, (3) Clareza, (4) Facilidade de compreensão, (5) Facilidade de uso, (6) Parcimônia e (7) Pertinência ao contexto. Esses critérios foram baseados nos propostos por Stufflebeam (2000), no entanto foi removido o critério de "imparcialidade" devido à natureza das recomendações, que buscam argumentar sobre diferentes usos para as simulações de daltonismo e não se manter imparciais. Para a avaliação dos critérios, utilizou-se uma escala *Likert* de 5 pontos. Por fim, para encerrar a avaliação, os avaliadores foram convidados a elencar pontos positivos e negativos da recomendações, além de possíveis conteúdos que estivessem faltando e possíveis pontos de melhoria.

Os dados coletados através dos questionários foram compilados e submetidos a uma análise quali-quantitativa. Os dados quantitativos foram importantes para determinar a visão geral dos avaliadores sobre as recomendações, e identificar os principais pontos de atenção para priorização de melhorias. Já os dados qualitativos foram submetidos a uma análise temática,

¹ A planilha utilizada pode ser acessada através do link https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1k3FdGs_5AT98Mft91Dj793faxeJo_Sdz

resultando em uma lista de melhorias para a versão final das recomendações. Os pontos de conflito entre as opiniões dos participantes foram resolvidos com base nos resultados das etapas anteriores desta pesquisa e na literatura.

As recomendações foram então corrigidas e melhoradas, com alterações simples de escrita para facilitar a compreensão, resultando na versão final apresentada na Seção 6.4.

6.2 Versão preliminar das recomendações

A partir dos resultados apresentados nos Capítulos 3 e 4 e discutidos no Capítulo 5, foi desenvolvido um conjunto de 9 recomendações para o uso de simulações de daltonismo na criação de jogos cromaticamente acessíveis para dispositivos móveis. Sua versão preliminar foi:

1. Utilize simulações de daltonismo para introduzir o assunto de acessibilidade no dia-a-dia da sua equipe;
2. Treinamento é necessário, mas não espere ser um especialista para começar;
3. Use as simulações de daltonismo em combinação com as *guidelines*;
4. Utilize a ferramenta de simulação que menos obstrua seu processo de trabalho;
5. Compare as versões simuladas com a versão original do seu jogo;
6. Fique atento aos *feedbacks* visuais e a outros elementos que não estão sempre à vista na tela do jogo;
7. Corrija os problemas identificados com as simulações, ainda que cosméticos, antes de testar com jogadores com daltonismo;
8. Utilize as simulações para planejar o foco de pesquisa com jogadores com daltonismo de maneira estratégica;
 - 8.1 Deixe que o participante explore livremente a princípio;
 - 8.2 Busque por problemas que possam ser invisíveis para as pessoas com daltonismo;
 - 8.3 Utilize os pontos problemáticos identificados com as simulações como pontos de discussão;
9. Explore com jogadores com daltonismo os significados das cores escolhidas para o jogo.

Para cada uma das recomendações foi desenvolvida uma descrição detalhada, apresentando as evidências que embasam a recomendação e dicas para a sua aplicação. Visando um maior alcance, especialmente considerando o público de designers e desenvolvedores que possuem pouca ou nenhuma experiência com IHC e acessibilidade, foi utilizada uma linguagem simples e menos formal. A descrição detalhada das recomendações seguiu o seguinte formato:

- Cenário de problema;
- Descrição geral e evidências que embasam a recomendação;
- Cenário de uso;
- Dicas para aplicação;
- O que não fazer (se cabível);
- Referências.

Para contextualizar melhor o leitor, também foi criada uma página inicial com uma rápida explicação sobre o tema e o uso das recomendações. Essa página contava também com uma seção de material complementar, em foram listadas algumas *guidelines* de acessibilidade focadas no desenvolvimento de jogos e algumas ferramentas de simulação de daltonismo de diferentes tipos (tela de *desktop*, tela de *smartphone* e realidade aumentada). Essa versão das recomendações foi organizada e disponibilizada através da plataforma Notion para avaliação com profissionais descrita na Seção 6.3.

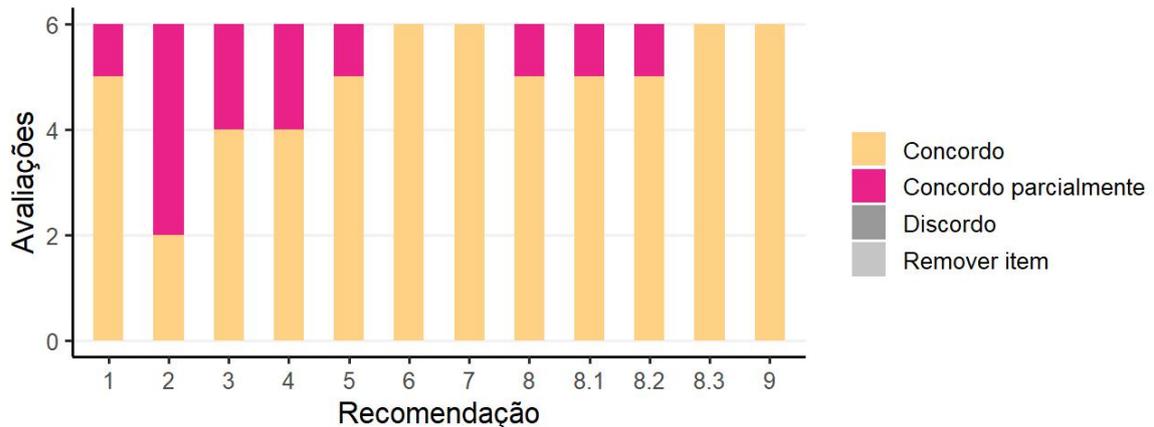
6.3 Avaliação das recomendações

Após a criação da versão preliminar, as recomendações foram avaliadas por 6 profissionais da academia e da indústria através de um questionário *online* (descrito em ??). O objetivo foi analisar a pertinência, organização e clareza das informações apresentadas, além de sondar a opinião dos avaliadores acerca da aplicabilidade das recomendações em contextos reais. Também foram coletadas sugestões de melhorias.

Os resultados da avaliação mostraram que os participantes em geral concordaram com os títulos e as descrições das recomendações propostas (Figura 11). Na parte 1 do questionário, nenhum participante afirmou discordar de alguma das recomendações e todas as respostas ficaram entre as opções "concordo" e "concordo parcialmente". As recomendações 6, 7, 8.3 e 9 foram aprovadas por unanimidade.

A recomendação 2 ("Treinamento é necessário, mas não espere ser um especialista para começar") foi a que causou mais dúvida entre os participantes (4 dos 6 reponderam "concordo parcialmente"). Comentários destacam que o conteúdo desta recomendação ficou muito próximo da anterior e que falta uma melhor indicação de por onde começar. As recomendações 3 e 4, por sua vez, tiveram sugestões de mudanças em seus títulos para que a informação ficasse mais clara. Também foram identificados nas respostas dos participantes áreas do documento em que a adição de exemplos poderia facilitar o entendimento.

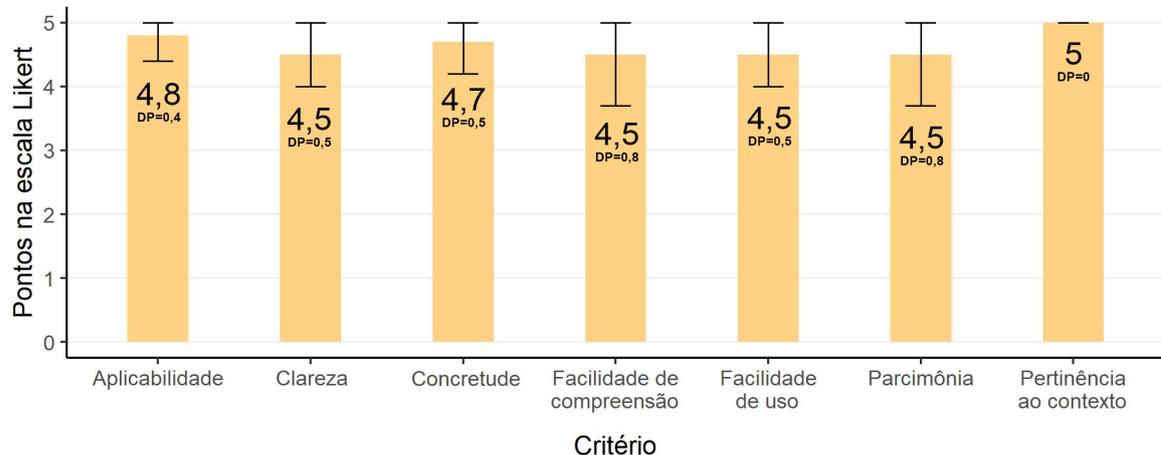
Figura 11 – Concordância dos avaliadores em cada uma das recomendações



Fonte: elaborado pelo autor.

Na parte 2 do questionário, que avaliava a percepção geral sobre as recomendações, a avaliação dos participantes também foi positiva. Na escala Likert de 5 pontos utilizada, todos os participantes marcaram valores maiores ou iguais a 3 em todos os critérios, sendo 5 o valor mais positivo. Assim, as médias das respostas para cada um dos critérios variaram entre 4,5 e 5 (Figura 12).

Figura 12 – Médias das respostas aos critérios de avaliação geral das recomendações



Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 13 apresenta os aspectos positivos e negativos relatados pelos avaliadores da versão inicial das recomendações. Os aspectos positivos foram relacionados à relevância do conteúdo e à forma como ele foi disponibilizado. Os avaliadores perceberam o valor e a aplicabilidade do conteúdo apresentado. AVA5 afirmou "*Achei interessante a explicação e inserção de tópicos como inspeção, heurísticas e guidelines de acessibilidade; são conhecimentos que nem sempre os desenvolvedores têm, principalmente os indie, se não vêm de cenários de contato*

com cursos e conteúdos profissionais de design". Além disso, os avaliadores consideraram que a forma como as recomendações foram apresentadas ficou adequada e que a linguagem simples utilizada permite que diversos públicos possam consumir as informações facilmente. O principal aspecto negativo foi a falta de um ponto de partida claro, que orientasse os leitores sobre como utilizar as recomendações e, especialmente, por onde começar.

Tabela 13 – Consolidação dos aspectos positivos e negativos das recomendações

| Opinião dos avaliadores | |
|---------------------------|---|
| Aspectos positivos | <ul style="list-style-type: none"> - Recomendações relevantes e aplicáveis no contexto de desenvolvimento de jogos <i>mobile</i>. - Bom formato de apresentação e ordem das recomendações. - Linguagem simples, adequada para diversos públicos e clara. |
| Aspectos negativos | <ul style="list-style-type: none"> - Falta de um ponto de partida claro: "Por onde começar?" - Referências majoritariamente em inglês. |

Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 14 apresenta a opinião dos avaliadores sobre o que faltou nas recomendações e aspectos a melhorar. Os participantes sentiram falta de uma seção com orientação sobre o uso das recomendações de forma geral, reforçando o principal ponto negativo citado anteriormente. Eles também sentiram falta de mais informações sobre o daltonismo, especialmente explicando sobre os diferentes tipos. Dois participantes também sentiram falta de uma área com dicas de ferramentas de simulação. Essa área já estava disponível na versão avaliada das recomendações, mas passou despercebida por esses avaliadores. Outros participantes inclusive citaram que seria necessária uma melhor sinalização dessa área na pergunta sobre pontos que precisam melhorar.

6.4 Versão final das recomendações

De forma geral, a avaliação das recomendações apresentou resultados bem positivos em relação à versão inicial, demonstrando a relevância do conteúdo e a aceitação da forma em que ele foi organizado. Entretanto, os avaliadores fizeram diversas sugestões de melhorias que foram consideradas para a versão final das recomendações.

Em relação à seção inicial, de introdução às recomendações, foram adicionadas mais informações sobre o daltonismo e foi criada uma subseção chamada "Como começar?", que guia os leitores de forma geral sobre o uso das recomendações. Foi importante destacar nessa seção que, apesar das recomendações serem ordenadas, elas não indicam passos de um processo

Tabela 14 – Consolidação dos aspectos ausentes e a melhorar das recomendações

| Opinião dos avaliadores | |
|--------------------------------|---|
| O que está faltando? | <ul style="list-style-type: none"> - Seria interessante um resumo de cada recomendação logo no início da respectiva página - Falta uma seção inicial "<i>getting started</i>" que dê orientações de como as pessoas devem usar as recomendações - Agrupar as recomendações por temas similares - Descrever rapidamente o daltonismo e seus tipos. Isso é importante para deixar claro que testar com apenas um jogador com daltonismo não é suficiente, já que ele vai ter uma visão única de acordo com as suas limitações. - Adicionar lista de ferramentas. |
| O que precisa melhorar? | <ul style="list-style-type: none"> - Deixar mais claro que a seção de materiais complementares existe. Ela pode ser facilmente perdida. - Oferecer informações rápidas sobre os experimentos que foram utilizados para criar as recomendações. - Adicionar introdução breve sobre <i>guidelines</i>, pois muitos desenvolvedores não têm conhecimento sobre isso. - Oferecer um guia direto de como utilizar as recomendações. |

Fonte: elaborado pelo autor.

a ser seguido e podem ser lidas de forma independente. Além disso, as recomendações foram agrupadas por assunto em 3 categorias: introdução de simulações de daltonismo no processo de criação de jogos (recomendações 1 e 2), uso de simulações de daltonismo como ferramentas para inspeção e correção de problemas (recomendações de 3 a 7) e uso de simulações de daltonismo em combinação com teste com jogadores com daltonismo (recomendações 8 e 9). Por fim, a seção de materiais complementares, já presente na versão inicial das recomendações, ganhou um maior destaque.

Adicionalmente, foi criada uma seção nova que apresenta, de forma resumida, os 3 experimentos realizados nesta pesquisa e que serviram como base para a criação das recomendações. Saber mais sobre esses experimentos foi uma demanda comum dos avaliadores e a criação da seção foi sugestão de AVA2.

A recomendação 2 teve sua descrição alterada para forçar mais no assunto destacado pelo título, como sugerido pelo avaliador AVA1. Além disso, as recomendações 3, 4 e 7 tiveram seus títulos alterados seguindo sugestões dos avaliadores, de forma a torná-los mais claros e diretos.

Além de todas essas mudanças, foram realizados pequenos ajustes no texto sugeridos pelos participantes, de forma a resolver dúvidas que surgiram durante a leitura e a deixar as informações mais claras. Também foram adicionados alguns exemplos em partes do texto que

geraram confusão nos avaliadores.

6.5 Conclusão

Este capítulo apresentou a criação e avaliação das Recomendações para o uso de simulações de daltonismo na criação de jogos cromaticamente acessíveis para dispositivos móveis. A Seção 6.2 apresentou de forma resumida a estrutura utilizada na versão inicial das recomendações. Em seguida, a Seção 6.3 descreveu os resultados da avaliação realizada com 6 profissionais da academia e da indústria de jogos. Os resultados foram majoritariamente positivos, entretanto, os avaliadores fizeram diversas sugestões de melhorias. A Seção 6.4 apresentou, finalmente, os ajustes que foram realizados nas recomendações para a criação da sua versão final.

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS

Esta dissertação investigou como simulações de daltonismo podem ser usadas em processos de desenvolvimento de jogos de forma a criar produtos mais acessíveis cromaticamente sem tirar o foco das necessidades dos jogadores com daltonismo. A Seção 7.1 descreve os principais resultados alcançados e as publicações realizadas. Em seguida, a Seção 7.2 detalha as principais limitações desta pesquisa. Por fim, a Seção 7.3 propõe caminhos para trabalhos futuros em relação a esta pesquisa.

7.1 Resultados alcançados

A deficiência na visão de cores torna o ato de jogar jogos digitais especialmente desafiador (TANUWIDJAJA *et al.*, 2014). Diante da necessidade de garantir a acessibilidade cromática desses produtos e dos inúmeros desafios enfrentados pela indústria de jogos para viabilizar acessibilidade em seus projetos (KULIK *et al.*, 2021), as simulações de daltonismo apresentam grande potencial de contribuir para a solução deste problema. Entretanto, o uso de simulações como substituto a pesquisas com usuários pode gerar produtos desconectados das reais necessidades de jogadores com daltonismo (BENNETT; ROSNER, 2019). Neste contexto, esta pesquisa buscou responder 4 perguntas principais:

- (QP1) Quais são as ferramentas disponibilizadas pela academia e pela indústria para a criação de jogos cromaticamente acessíveis?
- (QP2) Simulações de daltonismo são suficientes para que profissionais, mesmo com pouca experiência, consigam identificar problemas de acessibilidade cromática?
- (QP3) Quais tipos de problemas são mais difíceis de ser identificados apenas com o uso de simulações de daltonismo em jogos para dispositivos móveis?
- (QP4) O uso de simulações pode conscientizar desenvolvedores sobre a acessibilidade cromática e a sua importância?

Essas perguntas foram respondidas ao longo da metodologia aplicada nesta pesquisa. QP1 foi respondida através da revisão da literatura (Etapa 1) e da Exploração de ferramentas (Etapa 2), com um experimento usando duas modalidades de simulações de daltonismo durante o processo real de desenvolvimento de um jogo para dispositivos móveis (EXP1) e uma análise comparativa de *guidelines*. As demais perguntas – QP2, QP3 e QP4 – foram respondidas através dos conhecimentos gerados na Etapa 2 em combinação com os experimentos aplicados na Etapa

3. Esses experimentos exploraram como as simulações de daltonismo funcionam em avaliações de acessibilidade cromática da interface (EXP2) e como os significados das cores são percebidos através delas (EXP3).

Como resultado, observou-se que as simulações de daltonismo permitem que designers e desenvolvedores com visão de cores típica, mesmo aqueles com pouca experiência com acessibilidade, identifiquem pelo menos os problemas de acessibilidade cromática mais graves em seus jogos. Além disso, evidências indicaram que os profissionais da indústria de jogos podem ter uma perspectiva única ao usar as simulações para identificar problemas de acessibilidade cromática, pois podem comparar sua visão típica com as imagens filtradas. Isso torna mais fácil descobrir e corrigir problemas que podem ser invisíveis para jogadores com daltonismo. Também foi identificado que problemas relacionados ao significado associado às cores são mais complexos de identificar e mitigar por meio de simulações. No entanto, foi observado que o brilho e a saturação das cores, atributos que podem ser analisados com as simulações de daltonismo, podem ser manipulados por designers e desenvolvedores para aproximar os usuários com daltonismo do significado pretendido para uma cor específica em seu jogo.

Além disso, esta dissertação discutiu diferentes possibilidades de incorporação de ferramentas de simulação, diretrizes de acessibilidade e participação de jogadores daltonismo nas várias etapas do ciclo de vida típico de desenvolvimento de um jogo. Por fim, também foi identificado o potencial das simulações de daltonismo para atuar como ponto de partida para introduzir a discussão sobre acessibilidade no dia-a-dia de estúdios de desenvolvimento de jogos.

Adicionalmente, buscando auxiliar profissionais do mercado de jogos a fazer escolhas informadas para considerar a acessibilidade cromática em seu fluxo de trabalho, levando em consideração os recursos disponíveis, os conhecimentos gerados a partir desse trabalho, foram compilados em 9 recomendações para o uso de simulações de daltonismo na criação de jogos cromaticamente acessíveis para dispositivos móveis. A criação dessas recomendações fomenta a intercomunicação de resultados e a troca de práticas entre academia e indústria de jogos, seguindo o direcionamento levantado por Darin *et al.* (2023) em Grandes Desafios da Pesquisa em Jogos e Computação de Entretenimento no Brasil para os próximos 10 anos.

Durante a pesquisa, também foram geradas publicações diretamente relacionadas ao trabalho de mestrado, listadas na Tabela 15. O primeiro artigo da tabela, publicado na trilha de Pesquisa do Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais em 2021, relatou o EXP1 da metodologia desta dissertação. Ele foi um importante passo, pois a

contribuição da comunidade científica apontou caminhos que foram seguidos nas etapas seguintes da pesquisa. O segundo trabalho, publicado na trilha de Pôsteres e Demonstrações do Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais em 2022, relatou uma pesquisa preliminar que foi utilizada como base para o planejamento do EXP3. Por fim, o terceiro trabalho, aceito para publicação no Journal Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction (PACMHCI) e apresentação no CHI PLAY em 2023, relatou os resultados completos desta dissertação.

Tabela 15 – Trabalhos publicados com relação direta a esta dissertação

| Tipo | Referência |
|---|---|
| Simpósio Qualis: A3 | PINHEIRO, M.; VIANA, W.; ANDRADE, R. M.; DARIN, T. Flying colors: Using color blindness simulations in the development of accessible mobile games. In: Anais de XX Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais. [S. l.: s. n.], 2021. p. 1–11. |
| Simpósio Qualis: A3 | PINHEIRO, M.; VIANA, W.; DARIN, T. Análise de atributos visuais de personagens em jogos de plataforma para dispositivos móveis. In: SBC. Anais Estendidos do XXI Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais. [S. l.], 2022. p. 80–83. |
| Journal Fator de impacto: 3,74 / Q2 | PINHEIRO, M.; VIANA, W.; DARIN, T. Why should red and green never be seen? Exploring color blindness simulations as tools to create chromatically accessible games. In: ACM CHI Play and Proceedings of the ACM on Human Computer Interaction (PACMHCI), 2023. Premiado como Best Paper na conferência CHI Play 2023. |

Fonte: elaborado pelo autor.

Outros dois artigos foram publicados durante o período de desenvolvimento desta dissertação. Apesar de não estarem diretamente ligados ao tema deste trabalho, eles permitiram a obtenção de conhecimento em áreas correlatas e o desenvolvimento de habilidades que contribuíram para o resultado final desta pesquisa. A Tabela 16 lista essas publicações.

Tabela 16 – Publicações desenvolvidas no decorrer desta dissertação

| Tipo | Referência |
|-------------------------------|---|
| Journal Qualis: B2 | CARNEIRO, N.; DARIN, T.; PINHEIRO, M.; VIANA, W. Using Interviews to Evaluate Location-Based Games: Lessons and Challenges. In: Journal on Interactive Systems, 11(1). SBC, 2020. p. 125-138. |
| Simpósio Qualis: B1 | PINHEIRO, M.; JUY, C; VIANA, W; DARIN, T. Considering human factors in the evaluation and redesign of an application for harm reduction to drug users. In: Anais de XIX Simpósio Brasileiro de qualidade de Software (SBQS), 2021. p. 1–10. |

Fonte: elaborado pelo autor.

7.2 Limitações

Algumas limitações ocorreram durante a concepção e execução desta pesquisa, que devem ser destacadas. Em EXP1, devido aos aspectos legais e de propriedade intelectual do projeto desenvolvido em parceria com uma empresa, o número e o perfil dos participantes foram limitados. Nas etapas do projeto em que foram realizados os testes - ainda durante o desenvolvimento do jogo - não foi autorizada a participação de pessoas externas e que não tivessem assinado um acordo de não divulgação. Assim, é possível que a formação e o contexto semelhante dos participantes tenham, de alguma forma, contribuído para os resultados apresentados, visto que a maioria dos participantes já teve contato com conceitos de acessibilidade. Como forma de mitigar essa ameaça, os participantes foram selecionados de forma que a distribuição entre os perfis ficasse balanceada. Além disso, esse experimento teria se beneficiado da participação de jogadores com daltonismo mas, pelos mesmos motivos supracitados, isso não foi possível. Entretanto, através da triangulação realizada com os resultados de EXP2 e EXP3, que contaram com a participação de jogadores com daltonismo, foi possível ter uma visão mais completa nos resultados finais.

Adicionalmente, os resultados de EXP1 podem ter sido afetados pelo efeito da maturação. Na fase 2 (atividades de design), a ordem de utilização das ferramentas de simulação pode ter facilitado a utilização da segunda. Na etapa 3 (avaliação empírica de *gameplay*), os participantes já estavam familiarizados com o funcionamento do jogo e suas mecânicas por terem jogado sem simulação antes de avaliar com a ferramenta de realidade aumentada. Embora isso possa ter auxiliado na identificação de problemas, essa influência já era esperada visto que os participantes faziam parte da equipe de desenvolvimento do jogo avaliado. Além disso, a utilização das ferramentas de simulação de daltonismo, proposta por este trabalho, se beneficia exatamente da experiência prévia dos profissionais, tornando as condições do experimento adequadas ao uso pretendido dessas ferramentas.

Em relação aos participantes recrutados para EXP2 e EXP3, alguns dos perfis apresentaram uma variedade limitada de características. Não houve representação feminina no grupo de jogadores com daltonismo recrutados para EXP2 e EXP3. No entanto, isso era esperado, uma vez que o daltonismo tem uma prevalência muito maior em homens (SIMUNOVIC, 2010). O perfil DEV não apresentou uma amostra diversa em relação à escolaridade, onde a maioria dos participantes cursavam uma graduação. Isso aconteceu porque eles foram recrutados principalmente em uma universidade, no entanto, isso não foi uma grande ameaça, pois a

característica mais relevante para o perfil do DEV era o nível de experiência em desenvolvimento de jogos.

A avaliação das recomendações propostas, realizada na Etapa 5 desta pesquisa, foi executada com um grupo de 6 especialistas com perfis variados, focando na clareza e pertinência do conteúdo e na forma em que ele foi organizado e apresentado. Entretanto, devido a limitações de escopo e tempo, não foi possível avaliar o uso das recomendações no contexto da criação de um jogo real.

Por fim, a amostragem por conveniência foi utilizada quando necessária em todos os estudos apresentados neste trabalho, principalmente no recrutamento de jogadores daltônicos devido à sua disponibilidade mais escassa. Como esse tipo de amostragem pode criar naturalmente algum viés, algumas precauções foram tomadas para reduzir essas chances. Os candidatos foram apresentados à pesquisa, mas tiveram que oferecer voluntariamente sua participação nos experimentos. Além disso, os participantes foram convidados a recomendar outros candidatos, de forma expandir a rede e alcançar um conjunto mais diversificado de pessoas.

7.3 Trabalhos futuros

Por fim, os seguintes trabalhos futuros são sugeridos como próximos passos para evolução desta pesquisa:

- Aplicar as recomendações em um estudo de caso com uma equipe que não costuma considerar acessibilidade em seus projetos e acompanhar o desenvolvimento completo de um jogo;
- Explorar se o uso de simulações de daltonismo como ferramenta para planejar pesquisas com jogadores com daltonismo leva a resultados mais completos;
- Desenvolver um guia detalhado para auxiliar desenvolvedores a planejar avaliações de jogos com jogadores com daltonismo tendo como base avaliações prévias realizadas com simulações de daltonismo;
- Criar um simulador de daltonismo em realidade aumentada específico para avaliações de acessibilidade cromática, com foco na criação de relatórios e no uso de comandos que melhorem a experiência dos avaliadores no contexto de design e desenvolvimento de jogos;
- Aprofundar a investigação sobre como o brilho das cores é interpretado por jogadores daltônicos em comparação com jogadores com visão de cores típica;

- Aprofundar a investigação sobre o significado de outros elementos visuais que possam ser utilizados como canal alternativo para informações transmitidas por cor.

REFERÊNCIAS

- AGUADO-DELGADO, J.; GUTIERREZ-MARTINEZ, J.-M.; HILERA, J. R.; MARCOS, L. de; OTÓN, S. Accessibility in video games: a systematic review. **Universal Access in the Information Society**, Springer, v. 19, n. 1, p. 169–193, 2020.
- ALSHAYBAN, A.; AHMED, I.; MALEK, S. Accessibility issues in android apps: state of affairs, sentiments, and ways forward. In: **IEEE. 2020 IEEE/ACM 42nd International Conference on Software Engineering (ICSE)**. [S. l.], 2020. p. 1323–1334.
- AMÉLIO, C. de O. A indústria e o mercado de jogos digitais no brasil. **XVII SBGames, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil**, p. 1497–1506, 2018.
- ANDRADE, R.; ROGERSON, M. J.; WAYCOTT, J.; BAKER, S.; VETERE, F. Playing blind: Revealing the world of gamers with visual impairment. In: **Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. [S. l.: s. n.], 2019. p. 1–14.
- ARAÚJO, M. C.; FAÇANHA, A. R.; DARIN, T. G.; SÁNCHEZ, J.; ANDRADE, R. M.; VIANA, W. Um estudo das recomendações de acessibilidade para audiogames móveis. **XIV Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital-ISSN**, p. 2179–2259, 2015.
- ATES, H. C.; FIANNACA, A.; FOLMER, E. Immersive simulation of visual impairments using a wearable see-through display. In: **Proceedings of the ninth international conference on tangible, embedded, and embodied interaction**. [S. l.: s. n.], 2015. p. 225–228.
- AYTAC, S. *et al.* Using color blindness simulator during user interface development for accelerator control room applications. In: **Proceedings of the International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems**. [S. l.: s. n.], 2018. p. 1958–1963.
- BENNETT, C. L.; ROSNER, D. K. The promise of empathy: Design, disability, and knowing the "other". In: **Proceedings of the 2019 CHI conference on human factors in computing systems**. [S. l.: s. n.], 2019. p. 1–13.
- BENYON, D. **Designing user experience**. [S. l.]: Pearson UK, 2019.
- BONACIN, R.; REIS, J. C. dos; ARAUJO, R. J. de. An ontology-based framework for improving color vision deficiency accessibility. **Universal Access in the Information Society**, Springer, p. 1–26, 2021.
- BRANDT, R.; HERRERO, D.; MASSETTI, T.; CROCETTA, T. B.; GUARNIERI, R.; MONTEIRO, C. B. de M.; VIANA, M. da S.; BEVILACQUA, G. G.; ABREU, L. C. de; ANDRADE, A. The brunel mood scale rating in mental health for physically active and apparently healthy populations. **Health**, Scientific Research Publishing, v. 8, n. 2, p. 125–132, 2016.
- 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)**. 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm.
- BROPHY, P.; CRAVEN, J. Web accessibility. **Library trends**, Johns Hopkins University Press, v. 55, n. 4, p. 950–972, 2007.

BROWN, M.; ANDERSON, S. L. Designing for disability: Evaluating the state of accessibility design in video games. **Games and Culture**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, p. 1555412020971500, 2020.

CAIRNS, P.; POWER, C.; BARLET, M.; HAYNES, G. Future design of accessibility in games: A design vocabulary. **International Journal of Human-Computer Studies**, Elsevier, v. 131, p. 64–71, 2019.

CHOO, K. T. W.; BALAN, R. K.; LEE, Y. Examining augmented virtuality impairment simulation for mobile app accessibility design. In: **Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. [S. l.: s. n.], 2019. p. 1–11.

CONSORTIUM, W. W. W. *et al.* **Accessibility requirements for people with low vision**. 2019. Disponível em: <https://w3c.github.io/low-vision-a11y-tf/requirements.html>.

CREPALDI, N. Y.; LIMA, I. B. de; VICENTINE, F. B.; RODRIGUES, L. M. L.; YAMAGUTI, V. H.; SANCHES, T. L. M.; RUFFINO-NETTO, A.; ALVES, D.; RIJO, R. P. C. L. Satisfaction evaluation of health professionals in the usability of software for monitoring the tuberculosis treatment. **Procedia Computer Science**, Elsevier, v. 121, p. 889–896, 2017.

CUNNINGHAM, W. The wycash portfolio management system. **ACM SIGPLAN OOPS Messenger**, ACM New York, NY, USA, v. 4, n. 2, p. 29–30, 1992.

DARIN, T.; CARNEIRO, N.; MIRANDA, D.; COELHO, B. Challenges in evaluating players' interaction with digital games. In: SPRINGER. **Grand Research Challenges in Games and Entertainment Computing in Brazil-GrandGamesBR 2020–2030: First Forum, GrandGamesBR 2020, Recife, Brazil, November 7-10, 2020, and Second Forum, GrandGamesBR 2021, Gramado, Brazil, October 18–21, 2021, Revised Selected Papers**. [S. l.], 2023. p. 1–24.

ELLIOT, A. J.; MAIER, M. A. Color-in-context theory. In: **Advances in experimental social psychology**. [S. l.]: Elsevier, 2012. v. 45, p. 61–125.

FAN, M.; LIN, J.; CHUNG, C.; TRUONG, K. N. Concurrent think-aloud verbalizations and usability problems. **ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)**, ACM New York, NY, USA, v. 26, n. 5, p. 1–35, 2019.

FLATLA, D. R.; GUTWIN, C. "so that's what you see"building understanding with personalized simulations of colour vision deficiency. In: **Proceedings of the 14th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility**. [S. l.: s. n.], 2012. p. 167–174.

FLORES-GARZÓN, E. P.; INTRIAGO-ECHEVERRÍA, L. J.; JARAMILLO-ALCÁZAR, A.; CRIOLLO, S.; LUJÁN-MORA, S. *et al.* Catch the thief: An approach to an accessible video game with unity. INSIGHT-Indonesian Society for Knowledge and Human Development, 2020.

FORTES, R. P. M.; SALGADO, A. de L.; SANTOS, F. de S.; AMARAL, L. A. do; SILVA, E. A. N. da. Game accessibility evaluation methods: A literature survey. In: SPRINGER. **International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction**. [S. l.], 2017. p. 182–192.

FUCHS, C.; OBRIST, M. Hci and society: towards a typology of universal design principles. **Intl. Journal of Human-Computer Interaction**, Taylor & Francis, v. 26, n. 6, p. 638–656, 2010.

- GESLIN, E.; JÉGOU, L.; BEAUDOIN, D. How color properties can be used to elicit emotions in video games. **International Journal of Computer Games Technology**, Hindawi Limited London, UK, United Kingdom, v. 2016, p. 1–1, 2016.
- GOTO, K. The era of adaptive experiences: Rethinking universal and inclusive design. **Design Management Review**, Wiley Online Library, v. 30, n. 3, p. 28–33, 2019.
- GRAMMENOS, D.; SAVIDIS, A.; STEPHANIDIS, C. Designing universally accessible games. **Computers in Entertainment (CIE)**, ACM New York, NY, USA, v. 7, n. 1, p. 1–29, 2009.
- GRAVETTER, F. J.; FORZANO, L.-A. B. **Research methods for the behavioral sciences**. [S. l.]: Cengage Learning, 2018.
- HOFFMANN, A.; MENOZZI, M. Applying the ishihara test to a pc-based screening system. **Displays**, Elsevier, v. 20, n. 1, p. 39–47, 1999.
- HOLMES, K. **Mismatch: How inclusion shapes design**. [S. l.]: Mit Press, 2020.
- JIANG, J.; LIU, G. Mobile game design in the context of the mobile network. In: **SPRINGER. International Conference on Cognitive based Information Processing and Applications (CIPA 2021)**. [S. l.], 2022. p. 895–900.
- JOOSTEN, E.; LANKVELD, G. V.; SPRONCK, P. Influencing player emotions using colors. **Journal of Intelligent Computing**, v. 3, n. 2, p. 76–86, 2012.
- JUNG, C. W. Role of gamers' communicative ecology on game community involvement and self-identification of gamer. **Computers in Human Behavior**, Elsevier, v. 104, p. 106164, 2020.
- KAO, D.; HARRELL, D. F. Exploring the impact of avatar color on game experience in educational games. In: **Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems**. [S. l.: s. n.], 2016. p. 1896–1905.
- KIM, W.; CHOO, K. T. W.; LEE, Y.; MISRA, A.; BALAN, R. K. Empath-d: Vr-based empathetic app design for accessibility. In: **Proceedings of the 16th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services**. [S. l.: s. n.], 2018. p. 123–135.
- KLIUCH, D. **Mobile Game Development Process: How Mobile Games are created**. 2022. Disponível em: <https://whimsygames.co/blog/game-development-process/>.
- KULIK, J.; BEESTON, J.; CAIRNS, P. Grounded theory of accessible game development. In: **Proceedings of the 16th International Conference on the Foundations of Digital Games**. [S. l.: s. n.], 2021. p. 1–9.
- LARREINA-MORALES, M. E. How accessible is this video game? an analysis tool in two steps. **Games and Culture**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, p. 15554120231154710, 2023.
- LAZAR, J.; FENG, J. H.; HOCHHEISER, H. **Research methods in human-computer interaction**. [S. l.]: Morgan Kaufmann, 2017.
- LEE, J.; SANTOS, W. P. D. An adaptive fuzzy-based system to simulate, quantify and compensate color blindness. **Integrated Computer-Aided Engineering**, IOS Press, v. 18, n. 1, p. 29–40, 2011.

- LENARDUZZI, V.; BESKER, T.; TAIBI, D.; MARTINI, A.; FONTANA, F. A. A systematic literature review on technical debt prioritization: Strategies, processes, factors, and tools. **Journal of Systems and Software**, Elsevier, v. 171, p. 110827, 2021.
- LEWIS, J. R. Ibm computer usability satisfaction questionnaires: psychometric evaluation and instructions for use. **International Journal of Human-Computer Interaction**, Taylor & Francis, v. 7, n. 1, p. 57–78, 1995.
- LI, W.; FLATLA, D. R. 30 years later: Has cvd research changed the world? In: **The 21st International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility**. [S. l.: s. n.], 2019. p. 584–590.
- LÓPEZ, J. M.; MEDINA, N. M. Un enfoque para el diseño inclusivo de videojuegos centrado en jugadores daltónicos. **Revista de la Asociación Interacción Persona Ordenador (AIPO)**, v. 2, n. 1, p. 25–37, 2021.
- MACK, K.; MCDONNELL, E.; JAIN, D.; WANG, L. L.; FROEHLICH, J. E.; FINDLATER, L. What do we mean by “accessibility research”? a literature survey of accessibility papers in chi and assets from 1994 to 2019. In: **Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. [S. l.: s. n.], 2021. p. 1–18.
- MANKOFF, J.; FAIT, H.; JUANG, R. Evaluating accessibility by simulating the experiences of users with vision or motor impairments. **IBM Systems Journal**, IBM, v. 44, n. 3, p. 505–517, 2005.
- MARTÍNEZ, R. A.; TURRÓ, M. R.; SALTIVERI, T. G. Methodology for heuristic evaluation of the accessibility of statistical charts for people with low vision and color vision deficiency. **Universal Access in the Information Society**, Springer, p. 1–32, 2021.
- MOLINA-LÓPEZ, J.; MEDINA-MEDINA, N. Design proto-patterns to improve the interaction in video games of people with color blindness. In: **Proceedings of the XX International Conference on Human Computer Interaction**. [S. l.: s. n.], 2019. p. 1–2.
- NAPOLI, D.; CHIASSON, S. Exploring the impact of colour-blindness on computer game performance. In: **Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. [S. l.: s. n.], 2018. p. 1–6.
- NEIVA, M. Coloradd. color identification system. **Lights on... Cultural Heritage and Museums!**, p. 34, 2016.
- NIEBORG, D. B. Crushing candy: The free-to-play game in its connective commodity form. **Social Media+ Society**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 1, n. 2, p. 2056305115621932, 2015.
- NIELSEN, J. Usability inspection methods. In: **Conference companion on Human factors in computing systems**. [S. l.: s. n.], 1994. p. 413–414.
- NIELSEN, J. Severity ratings for usability problems. **Papers and Essays**, v. 54, p. 1–2, 1995.
- PERSSON, H.; ÅHMAN, H.; YNGLING, A. A.; GULLIKSEN, J. Universal design, inclusive design, accessible design, design for all: different concepts—one goal? on the concept of accessibility—historical, methodological and philosophical aspects. **Universal Access in the Information Society**, Springer, v. 14, p. 505–526, 2015.

- PINHEIRO, M.; VIANA, W.; ANDRADE, R. M.; DARIN, T. Flying colors: Using color blindness simulations in the development of accessible mobile games. In: **Proceedings of the XX Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems**. [S. l.: s. n.], 2021. p. 1–11.
- PINHEIRO, M.; VIANA, W.; DARIN, T. Análise de atributos visuais de personagens em jogos de plataforma para dispositivos móveis. In: SBC. **Anais Estendidos do XXI Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais**. [S. l.], 2022. p. 80–83.
- PLASS, J. L.; HOMER, B. D.; MACNAMARA, A.; OBER, T.; ROSE, M. C.; PAWAR, S.; HOVEY, C. M.; OLSEN, A. Emotional design for digital games for learning: The effect of expression, color, shape, and dimensionality on the affective quality of game characters. **Learning and instruction**, Elsevier, v. 70, p. 101194, 2020.
- PLOTHE, T. “the whose view of hue?: Disability adaptability for color blindness in the digital game hue. **GI Al Mi E Games as Art, Media, Entertainment**, Ludica, v. 1, n. 7, 2018.
- PORTER, J. R.; KIENTZ, J. A. An empirical study of issues and barriers to mainstream video game accessibility. In: **Proceedings of the 15th international ACM SIGACCESS conference on computers and accessibility**. [S. l.: s. n.], 2013. p. 1–8.
- POWER, C.; CAIRNS, P.; BARLET, M. Inclusion in the third wave: access to experience. In: **New Directions in Third Wave Human-Computer Interaction: Volume 1-Technologies**. [S. l.]: Springer, 2018. p. 163–181.
- POWER, C.; FREIRE, A.; PETRIE, H.; SWALLOW, D. Guidelines are only half of the story: accessibility problems encountered by blind users on the web. In: **Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems**. [S. l.: s. n.], 2012. p. 433–442.
- RAMADAN, R.; WIDYANI, Y. Game development life cycle guidelines. In: IEEE. **2013 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACISIS)**. [S. l.], 2013. p. 95–100.
- RAMOS, L. R. B. Proposta de modo de acessibilidade para o jogo nihilumbra: tornando o jogo mais acessível para jogadores daltônicos. 2019.
- RAVAJA, N.; SALMINEN, M.; HOLOPAINEN, J.; SAARI, T.; LAARNI, J.; JÄRVINEN, A. Emotional response patterns and sense of presence during video games: Potential criterion variables for game design. In: **Proceedings of the third Nordic conference on Human-computer interaction**. [S. l.: s. n.], 2004. p. 339–347.
- ROGERS, Y.; SHARP, H.; PREECE, J. **Interaction design: beyond human-computer interaction**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2023.
- ROOHI, S.; FOROUZANDEH, A. Regarding color psychology principles in adventure games to enhance the sense of immersion. **Entertainment Computing**, Elsevier, v. 30, p. 100298, 2019.
- SÁ, R. A.; FAÇANHA, A.; VIANA, W.; GOMES, G. A. Sdo: Simulador de doenças oculares. In: SBC. **Anais Estendidos do XXVI Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web**. [S. l.], 2020. p. 113–117.
- SAKUDA, L. O.; FORTIM, I. Ii censo da indústria brasileira de jogos digitais. **Ministério da Cultura: Brasília**, 2018.

SANTOS, S. Santos dos; CAMPOS, E. M.; RODRIGUES, K. R. da H. Emoframe: Prototype of a framework to assess users' emotional responses. In: SPRINGER. **HCI International 2022-Late Breaking Papers. Design, User Experience and Interaction: 24th International Conference on Human-Computer Interaction, HCII 2022, Virtual Event, June 26–July 1, 2022, Proceedings**. [S. l.], 2022. p. 282–301.

SHARIFZADEH, N.; KHARRAZI, H.; NAZARI, E.; TABESH, H.; KHODABANDEH, M. E.; HEIDARI, S.; TARA, M. Health education serious games targeting health care providers, patients, and public health users: scoping review. **JMIR serious games**, JMIR Publications Inc., Toronto, Canada, v. 8, n. 1, p. e13459, 2020.

SHARP, H.; ROGERS, Y.; PREECE, J. **Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction. (Fifth)**. [S. l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2019.

SILVA, B. S. da; ANDRADE, G. V. da S.; PINTO, J. A. D. S. Análise de simuladores e tecnologias assistivas que apoiam o designer a ver como daltônicos. **Ergodesign & HCI**, v. 5, n. Especial, p. 116–128, 2017.

SILVA, C.; ELER, M. M.; FRASER, G. A survey on the tool support for the automatic evaluation of mobile accessibility. In: **Proceedings of the 8th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion**. [S. l.: s. n.], 2018. p. 286–293.

SILVEIRA, M. S. Construindo o aprendizado de forma coletiva: criação de jogos para exploração de conceitos em uma disciplina de ihc. In: SBC. **Anais do XXVIII Workshop sobre Educação em Computação**. [S. l.], 2020. p. 126–130.

SIMUNOVIC, M. Colour vision deficiency. **Eye**, Nature Publishing Group, v. 24, n. 5, p. 747–755, 2010.

STORY, M. F. Maximizing usability: the principles of universal design. **Assistive technology**, Taylor & Francis, v. 10, n. 1, p. 4–12, 1998.

STORY, M. F. Principles of universal design. **Universal design handbook**, v. 2, 2001.

STUFFLEBEAM, D. L. Guidelines for developing evaluation checklists: the checklists development checklist (cdc). **Kalamazoo, MI: The Evaluation Center Retrieved on January**, v. 16, p. 2008, 2000.

TANUWIDJAJA, E.; HUYNH, D.; KOA, K.; NGUYEN, C.; SHAO, C.; TORBETT, P.; EMMENEGGER, C.; WEIBEL, N. Chroma: a wearable augmented-reality solution for color blindness. In: **Proceedings of the 2014 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing**. [S. l.: s. n.], 2014. p. 799–810.

VAUDOUR, F.; HEINZE, A. Software as a service: Lessons from the video game industry. **Global Business and Organizational Excellence**, Wiley Online Library, v. 39, n. 2, p. 31–40, 2020.

WANICK, V.; BITELO, C. Exploring the use of participatory design in game design: a brazilian perspective. **International Journal of Serious Games**, v. 7, n. 3, p. 3–20, 2020.

WESTIN, T.; KU, J. J.; DUPIRE, J.; HAMILTON, I. Game accessibility guidelines and wcag 2.0—a gap analysis. In: SPRINGER. **Computers Helping People with Special Needs: 16th International Conference, ICCHP 2018, Linz, Austria, July 11-13, 2018, Proceedings, Part I 16**. [S. l.], 2018. p. 270–279.

WOLFSON, S.; CASE, G. The effects of sound and colour on responses to a computer game. **Interacting with computers**, Oxford University Press Oxford, UK, v. 13, n. 2, p. 183–192, 2000.

WU, F.-G.; TSENG, C.-Y.; CHENG, C.-M. The composition of visual texture design on surface for color vision deficiency (cvd). **Computers in Human Behavior**, Elsevier, v. 91, p. 84–96, 2019.

YUAN, B.; FOLMER, E.; HARRIS, F. C. Game accessibility: a survey. **Universal Access in the information Society**, Springer, v. 10, n. 1, p. 81–100, 2011.

ZIMMERMANN, G.; VANDERHEIDEN, G. Accessible design and testing in the application development process: considerations for an integrated approach. **Universal Access in the Information Society**, Springer, v. 7, n. 1, p. 117–128, 2008.

APÊNDICE A – RECOMENDAÇÕES PARA O USO DE SIMULAÇÕES DE DALTONISMO NA CRIAÇÃO DE JOGOS CROMATICAMENTE ACESSÍVEIS PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS (VERSÃO FINAL)

Olá, designers e desenvolvedores de jogos!

Acessibilidade é um critério de qualidade importante e que deve ser considerado durante a criação de jogos para remover barreiras de acesso. No caso de jogadores com daltonismo, as cores utilizadas na interface de um jogo são decisivas para que eles possam identificar ou diferenciar elementos da interface. Entretanto, desafios como falta de informação e treinamento, baixa priorização durante o processo de criação e pouco orçamento para a condução de pesquisas com jogadores com daltonismo dificultam até mesmo a realização de pequenas mudanças que poderiam fazer grande diferença.

Não é um grupo pequeno não! Estima-se que o daltonismo esteja presente, em diversos níveis de severidade, em 8% da população mundial masculina e 0,5% da feminina (SIMUNOVIC, 2010). Além disso, o daltonismo é bastante variado. Existem três tipos principais: prontan-, deutano- e tritano-, que se apresentam em diversos níveis de severidade. Você pode ver a simulação dos três tipos de daltonismo em seu nível mais severo na figura 13.

Figura 13 – Demonstração de simulação de protanopia, deutranopia e tritanopia



Fonte: elaborado pelo autor.

Veja algumas dicas de **como começar**:

- Esta página apresenta **nove recomendações** para te ajudar integrar as simulações de daltonismo no processo de criação de jogos para dispositivos móveis de forma adequada.
- Você pode clicar em cada uma das recomendações para ver mais informações, casos de uso e dicas para aplicação.
- As recomendações estão organizadas em uma ordem lógica, mas elas não precisam ser lidas nessa ordem. Consulte o que mais te interessar.
- As recomendações 1 e 2 tratam da introdução de simulações de daltonismo no processo de

criação de jogos. As recomendações de 3 a 7 tratam do uso de simulações de daltonismo como ferramentas para inspeção e correção de problemas. As recomendações 8 e 9 tratam sobre o uso de simulações de daltonismo em combinação com teste com jogadores com daltonismo.

- Não conhece nenhuma ferramenta? A subseção A de materiais complementares te ajuda a encontrar *guidelines* de acessibilidade para jogos e ferramentas de simulação.

A.0.1 Utilize simulações de daltonismo para introduzir o assunto de acessibilidade no dia-a-dia da sua equipe

Esta recomendação foi baseada nos resultados de EXP1 e EXP2.

Entender a importância e o impacto de considerar a acessibilidade no processo de criação de um jogo é um primeiro passo importante para a conscientização do time. Uma experiência clara e pessoal com a proporcionada por uma simulação de daltonismo pode ser uma ferramenta interessante para esse propósito. Além de introduzir para os designers e desenvolvedores algumas limitação que podem acontecer durante um jogo devido ao daltonismo, o uso de simulações pode também servir como um ponto de partida para que o tema de acessibilidade seja discutido de forma mais completa com o passar do tempo.

Experimentos demonstram que designers e desenvolvedores, ao jogar protótipos de jogos para dispositivos móveis utilizando simulações de daltonismo, se mostraram impressionados com o impacto da deficiência na visão de cores na experiência. Participantes relataram ter que se concentrar muito mais para jogar e alguns até se sentiram impossibilitados de finalizar o jogo. Esse impacto foi especialmente significativo durante o uso de simulações imersivas (realidade virtual e aumentada), onde não só a tela do dispositivo recebe o filtro de cores mas também todo o ambiente em volta.

A.0.1.1 Cenários

- **Cenário de problema:** Você faz parte de um time de criação de jogos que não costuma considerar acessibilidade em seus projetos. Você quer introduzir o assunto durante as reuniões mas não sabe como por parecer distante da sua realidade e dos seus colegas. Além disso, com a grande quantidade de demandas, você sente que esse assunto não será colocado como prioridade.
- **Cenário de uso:** Durante uma reunião, você propõe uma atividade com o time: jogar

alguns dos jogos desenvolvidos por vocês utilizando uma simulação de daltonismo. Vocês utilizam um óculos de realidade virtual compatível com o *Google Cardboard* e uma simulação em realidade aumentada. Você pede para que, ao jogar, cada integrante do time tente identificar os pontos em que a simulação dificultou o gameplay. Cada participante vai jogando e comentando a experiência. Ao final, vocês discutem sobre a experiência e conversam sobre possibilidades de considerar acessibilidade de cores durante o processo utilizado pelo time.

A.0.1.2 *Dicas para aplicação*

- Leve informações gerais sobre acessibilidade e daltonismo que contextualizem o time. Você pode encontrar algumas informações relevantes aqui.
- Se possível, proponha que o time utilize as simulações jogando os jogos produzidos por eles mesmos, de forma a criar uma experiência mais pessoal e próxima à realidade.
- Para gerar mais engajamento, utilize uma simulação imersiva. O SDO (SÁ *et al.*, 2020) é um simulador em realidade aumentada que está disponível para download gratuito para dispositivos *Android*. Apara utilizá-lo da melhor forma, será necessário também um óculos de realidade virtual compatível com o *Google Cardboard*.
- A experiência de utilizar as simulações pela primeira vez é mais rica em grupo. Incentive a participação de todos e faça perguntas que motive a discussão (e.g.: Vocês acharam que jogar com a simulação deixou o jogo mais difícil? Vendo o jogo através deste filtro, o que você mudaria para tornar a experiência de pessoas com daltonismo mais confortável?)
- Discuta com o seu time sobre a possibilidade de considerar acessibilidade de cores durante o processo.

A.0.1.3 *O que não fazer*

- Não seja capacitista em sua fala. Lembre-se que o termo correto a ser usado é Pessoa com Deficiência (PCD) ou, de forma mais específica, Pessoa com Daltonismo. A deficiência não se “tem” ou se “porta”, ela é uma condição existencial da pessoa. Para mais informações, consulte o guia sobre capacitismo ¹ criado pelo Tribunal Superior do Trabalho (TST).

¹ Disponível em <https://bit.ly/miniguiaacapacitismo>

A.0.2 Treinamento é necessário, mas não espere ser um especialista para começar

Esta recomendação foi baseada nos resultados de EXP1 e EXP2.

Acessibilidade é uma área complexa e há muito o que aprender. Mesmo pensando apenas na acessibilidade de cores, muito deve ser levado em consideração visto que existem diversos tipos de daltonismo e que a intensidade varia de pessoa para pessoa. Entretanto, é necessário começar de algum lugar. As simulações de daltonismo são ferramentas baratas e simples de serem utilizadas. Com isso, elas permitem uma maior liberdade para experimentar e realizar testes. Além disso, elas podem te ajudar nos seus estudos, já que é possível visualizar os efeitos do daltonismo em tempo real.

Você pode começar fazendo uma inspeção ² no seu jogo usando uma ferramenta de simulação. Experimentos demonstram que mesmo designers e desenvolvedores com pouca experiência em IHC e acessibilidade são capazes de identificar problemas de acessibilidade graves, que poderiam impedir jogadores com daltonismo de jogar, ao inspecionar interfaces de jogos utilizando simulações de daltonismo. Resultados também destacam que profissionais mais experientes são capazes de identificar problemas mais detalhados e sutis. Ou seja, com o passar do tempo e com o aprofundamento nos seus estudos, suas inspeções tendem a melhorar.

O que são inspeções? Inspeção de usabilidade é um nome genérico dado a métodos de avaliação que envolvem avaliadores analisando uma interface, tipicamente com o foco em identificar problemas de usabilidade (NIELSEN, 1994). Mas a gente não estava falando de acessibilidade? Usabilidade e Acessibilidade andam de mãos dadas: um sistema fácil de usar também é um sistema mais acessível. ³

Destaque: Simulações apenas aproximam a experiência que uma pessoa daltônica teria ao jogar o seu jogo. O objetivo é ter indicativos de como está a acessibilidade cromática do produto, e não verdades absolutas.

A.0.2.1 Cenários

- **Cenário de problema:** Você está participando da criação de um jogo e gostaria de considerar a acessibilidade de cores durante o processo de desenvolvimento. Você ouviu

² Inspeção de usabilidade é um nome genérico dado a métodos de avaliação que envolvem avaliadores analisando uma interface, tipicamente com o foco em identificar problemas de usabilidade (NIELSEN, 1994). Mas a gente não estava falando de acessibilidade? Usabilidade e Acessibilidade andam de mãos dadas: um sistema fácil de usar também é um sistema mais acessível. Leia mais sobre o assunto em <https://www.nngroup.com/articles/accessibility-is-not-enough/>.

³ Leia mais sobre o assunto no link: <https://www.nngroup.com/articles/accessibility-is-not-enough/>

falar do uso de simulações de daltonismo (e até já viu que elas estão disponíveis no programa que você usa para criar interfaces) mas não sabe por onde começar. Em geral, você não se sente qualificado o suficiente para criar um jogo acessível.

- **Cenário de uso:** Você e o seu time estão no meio do desenvolvimento de um jogo para dispositivos móveis. Vocês já têm um protótipo inicial jogável e você decide testá-lo utilizando as simulações nativas do sistema operacional *Android*. Além disso, você seleciona um grupo de *guidelines* de acessibilidade para jogos para guiar sua identificação de problemas. Você joga alguns ciclos do jogo com a simulação de cada um dos tipos de daltonismo que estão disponíveis. Durante essas partidas, você faz anotações. Ao final da inspeção, você descobre que uma parte da mecânica principal está dependente de cores e que isso torna o jogo muito mais difícil quando não é possível diferenciá-las. Você mostra as áreas problemáticas que você identificou para outros membros da equipe que, por ter mais experiência, consegue identificar outros problemas. Após isso, com o auxílio das *guidelines* e das simulações de daltonismo, vocês buscam criar alternativas para garantir o acesso de jogadores com daltonismo à mecânica principal do jogo.

A.0.2.2 *Dicas para aplicação*

- Estude o conjunto de *guidelines* de acessibilidade para jogos que você escolher antes de iniciar a utilizar as simulações. Isso vai lhe dar uma noção mais clara do que procurar durante as inspeções. Leia mais sobre esse assunto na Recomendação 7.3.3.
- Convide outros integrantes do seu time a realizar a inspeção paralelamente. Assim, ao comparar os problemas encontrados, vocês terão resultados mais ricos.
- Em etapas iniciais do processo, busque identificar principalmente se as mecânicas do jogo dependem de cores.
- Não espere! Ao contrário de metodologias que contam com a participação de usuários, que exige um maior planejamento, o uso de simulações é prático e pode ser integrado ao dia-a-dia. Consulte as simulações sempre que tiver uma dúvida ou quiser realizar um teste.

A.0.2.3 *O que não fazer*

- Não ache que apenas avaliações realizadas através de simulações são suficientes para garantir uma boa experiência a jogadores com daltonismo. As simulações são poderosas ferramentas auxiliares, mas é muito importante incluir jogadores durante o processo de

desenvolvimento do seu jogo. Um uso combinado dessas duas abordagens é indicado (veja mais sobre isso na Recomendação 7.3.8)

A.0.3 Use as simulações de daltonismo em combinação com guidelines de acessibilidade para jogos

Esta recomendação foi baseada nos resultados de EXP1 e EXP2.

As simulações de daltonismo possibilitam que designers e desenvolvedores com visão típica possam identificar problemas de acessibilidade cromática em jogos de forma empírica. Entretanto, os resultados de avaliações por inspeção utilizando simulações podem ser potencializados e enriquecidos com o auxílio de heurísticas e *guidelines*. Essas ferramentas são criadas a partir de estudos e experiências prévias de especialistas. Aproveite este conhecimento disponível para guiar o desenvolvimento do seu jogo.

Experimentos exploraram o uso isolado de simulações de daltonismo como ferramentas para identificar problemas de acessibilidade cromática em jogos. Apesar dos resultados positivos, observou-se que saber que tipos de problemas poderiam ser encontrados e onde procurá-los poderia ter aumentado a eficácia dos participantes na atividade proposta. Essa perspectiva combinada apresentou bons resultados em trabalhos similares (CHOO *et al.*, 2019). Isso fica aparente quando, em entrevista, participantes afirmaram não ter “prestado atenção” em certas áreas da interface por não saber que poderiam identificar problemas lá (e.g.: *feedbacks* visuais da jogo).

O que são inspeções? Inspeção de usabilidade é um nome genérico dado a métodos de avaliação que envolvem avaliadores analisando uma interface, tipicamente com o foco em identificar problemas de usabilidade (NIELSEN, 1994). Mas a gente não estava falando de acessibilidade? Usabilidade e Acessibilidade andam de mãos dadas: um sistema fácil de usar também é um sistema mais acessível. ⁴

O que são *guidelines*? São diretrizes, desenvolvidas pela academia e pela indústria, que buscam informar e guiar os designers e desenvolvedores (não só de jogos) na criação de produtos melhores e mais adequados. Existem *guidelines* sobre diversos temas. Em relação a acessibilidade, uma das principais e mais completas é a WCAG ⁵. Ela apresenta não só as orientações para criar produtos web acessíveis, mas também critérios de sucesso bem específicos

⁴ Leia mais sobre o assunto no link: <https://www.nngroup.com/articles/accessibility-is-not-enough/>

⁵ Disponível em: <https://www.w3c.br/traducoes/wcag/wcag21-pt-BR/>

para cada uma das suas diretrizes. Você pode encontrar uma lista de *guidelines* de acessibilidade na seção jjj.

Destaque: Simulações apenas aproximam a experiência que uma pessoa daltônica teria ao jogar o seu jogo. O objetivo é ter indicativos de como está a acessibilidade cromática do produto, e não verdades absolutas.

A.0.3.1 Cenários

- **Cenário de problema:** Você aplicou uma simulação de daltonismo ao seu jogo e pensou: tá, e agora? Você começou a explorar o jogo mas não sabia exatamente que tipo de problemas você deveria procurar e muito menos o que fazer com os problemas que você identificou.
- **Cenário de uso:** Você e o seu time decidem fazer uma inspeção com simulações de daltonismo em um protótipo jogável do jogo que está sendo desenvolvido por vocês. Vocês decidem utilizar as simulações de daltonismo nativas do *Android* e as *guidelines* de *Accessible Player Experience (APX)*. Vocês estudam as *guidelines* e definem uma lista de áreas a serem inspecionadas na interface do jogo. Cada avaliador utiliza individualmente a simulação para jogar e identificar pontos no jogo onde as cores utilizadas podem gerar problemas para jogadores com daltonismo. Para cada problema identificado, o avaliador registra uma breve descrição, o local da interface onde o problema ocorre, qual *guideline* foi quebrada e qual o nível de severidade do problema. Ao final, os avaliadores consolidam os resultados comparando suas listas de problemas identificados e resolvendo divergências entre elas. Após isso, com o auxílio das *guidelines* e das simulações de daltonismo, vocês buscam criar alternativas mais acessíveis para os problemas identificados, que serão testadas em passos seguintes do processo com jogadores com daltonismo.

A.0.3.2 Dicas para aplicação

- Estude o conjunto e *guidelines* de acessibilidade para jogos que você escolher antes de iniciar a utilizar as simulações. Isso vai lhe dar uma noção mais clara do que procurar durante as inspeções.
- Registre por escrito uma breve descrição de cada problema identificado e a área da interface em que ele se encontra.
- Para cada problema encontrado, registre também qual *guideline* foi quebrada. Isso ajudará

a resolvê-lo no futuro, visto que a maioria das *guidelines* de acessibilidade já trazem orientações de como o problema pode ser resolvido ou minimizado.

- Classifique os problemas identificados por severidade. Isso irá ajudá-lo a priorizar a resolução dos problemas identificados. Existem escalas criadas especialmente para este propósito, como a escala de Nielsen (NIELSEN, 1995).
- Utilize uma simulação que permita que você alterne facilmente entre os filtros dos diversos tipos de daltonismo e também permita que você visualize a versão original da interface sem filtros (mais informações na Recomendação 7.3.5). Comparar essas diferentes visualizações pode te ajudar a identificar problemas que não seriam identificados de outra forma.
- Convide outros integrantes do seu time a realizar a inspeção paralelamente. Assim, ao comparar os problemas encontrados, vocês terão resultados mais ricos.
- Não espere! Ao contrário de metodologias que contam com a participação de usuários, que exige um maior planejamento, o uso de simulações é prático e pode ser integrado ao dia-a-dia.

A.0.3.3 *O que não fazer*

- Não complique. A inspeção com simulações é um método de baixo custo e simples de ser realizado. Utilize os recursos que estiverem disponíveis. Por exemplo, se você não tiver acesso a outros profissionais para realizar a inspeção com você, faça sozinho mesmo. Ou se você gostaria de simular daltonismo no jogo em um *smartphone* mas só tem acesso ao protótipo do jogo que roda no *desktop*, inspecione a versão que estiver disponível. Você poderá rever os problemas identificados e até mesmo identificar outros em versões futuras.
- Não ache que apenas avaliações realizadas através de simulações são suficientes para garantir uma boa experiência a jogadores com daltonismo. As simulações são poderosas ferramentas auxiliares, mas é muito importante incluir jogadores durante o processo de desenvolvimento do seu jogo.

A.0.4 *Utilize a ferramenta de simulação que dificulte menos os seu processo de trabalho*

Esta recomendação foi baseada nos resultados de EXP1 e EXP2.

É importante que o uso das simulações seja confortável para que elas sejam integradas ao processo de criação. Para isso, é necessário escolher bem entre as várias opções disponíveis.

Existem três tipos mais comuns de simulações de daltonismo: em tela de *desktop*, em tela de *smartphone* ou em realidade aumentada. Estudos indicam que cada um desses tipos é mais adequado a diferentes atividades do processo de criação de um jogo.

As simulações em tela *desktop* são mais adequadas para atividades como prototipação de interface e criação de *assets* (etapas de Pré-produção e de Produção), já que o profissional já consegue aplicar a simulação no mesmo dispositivo. Já os outros dois tipos se encaixam melhor em etapas mais avançadas (etapas de produção, de testes e beta) onde já se tem protótipos jogáveis que podem ser testados no dispositivo alvo.

Destaque: Esses indicativos podem servir como guia, mas é importante que você e o seu time encontrem as ferramentas e configurações que se adequem melhor ao processo de vocês (Tabela 17).

Tabela 17 – Características dos tipos de simulação

| Tipo de simulação | É fácil de usar? | Dá trabalho fazer o setup? | Dá para simular em qualquer dispositivo? |
|---------------------|------------------|----------------------------|--|
| Tela de desktop | ★★★ | ●● | ✗ Não |
| Tela de smartphone | ★★★ | ● | ✗ Não |
| Realidade aumentada | ★ | ●●● | ✓ Sim |

Fonte: elaborado pelo autor.

A.0.4.1 Cenários

- **Cenário de problema:** Você já utilizou simulações de daltonismo antes mas sente dificuldade de integrá-las ao seu dia-a-dia. Você acaba não utilizando as simulações frequentemente porque elas parecem atrapalhar o seu fluxo de trabalho, exigindo o uso de diferentes programas e dispositivos.
- **Cenário de uso:** Você começa a explorar diferentes opções de simulações de daltonismo na plataforma desktop para encontrar alguma que te dê opção de simular vários tipos de daltonismo e comparar a versão original e que não exija que você saia do *Figma*. Você também começa a explorar a possibilidade de utilizar simulações em outras plataformas. Testar o gameplay dos seu jogos com a simulação de daltonismo nativa do *Android* virou uma prática comum para o time. Assim, vocês passaram a utilizar as simulações desde a criação de *assets* para consultas rápidas até na aplicação de inspeções de interface mais complexas.

A.0.4.2 *Dicas para aplicação*

- Explore diferentes ferramentas até encontrar a que mais se adeque as suas necessidades. Você pode iniciar a sua busca a partir dessa lista de simulações de daltonismo.
- Coloque na balança: ferramentas integradas aos programas que você já utiliza são ideais porque interrompem menos o seu fluxo de trabalho, entretanto, elas nem sempre oferecem as melhores possibilidades (e.g.: o *Photoshop* disponibiliza apenas simulações de Protanopia e Deuteranopia, deixando outros tipos de deficiência na visão de cores de fora).
- Teste utilizar diferentes modalidades de simulação em diferentes fases do processo. Isso pode fazer com que você identifique novos pontos do jogo que precisam de atenção.

A.0.5 *Compare as versões simuladas com a versão original do seu jogo*

Esta recomendação foi baseada nos resultados de EXP1 e EXP2.

Uma das vantagens de utilizar simulações de daltonismo para identificar problemas é a possibilidade de comparar as versões simuladas da interface com a versão original, sem simulação. Esse pode ser um bom ponto de partida para procurar pelos problemas de acessibilidade cromática, se guiando pelas perguntas: os elementos que eu vejo na versão original também são visíveis nas versões simuladas? Elementos que são diferentes na versão original parecem iguais na versão simulada?

Experimentos demonstram que participantes utilizando simulações conseguiram identificar uma maior variedade de problemas de acessibilidade cromática que os participantes com daltonismo. Isso se deu principalmente porque as simulações mostram os efeitos aproximados de mais de um tipo de daltonismo, enquanto os participantes com daltonismo só podiam contar com a própria visão para identificar os problemas.

Destaque: Lembre-se que, quanto antes no processo os problemas de acessibilidade cromática forem identificados e solucionados, menor será o custo deles em tempo e recursos do projeto.

A.0.5.1 *Cenários*

- **Cenário de problema:** Você utiliza simulações de daltonismo para buscar por problemas de acessibilidade cromática em seus jogos, entretanto, você sente dificuldade em identificar problemas mesmo com o auxílio de *guidelines*.

- **Cenário de uso:** Você está desenvolvendo a interface de um jogo e decide checar por problemas de acessibilidade cromática utilizando uma simulação de daltonismo. Você utiliza uma simulação na tela do *desktop* para identificar problemas e já fazer ajustes em tempo real. Você alterna entre a visão original sem filtros e cada uma das visões simuladas, observando inicialmente a interface por completo. Em seguida, você faz o mesmo mas agora observando individualmente cada elemento da interface (e.g.: botões, personagens, obstáculos). Você encontra alguns elementos que têm sua visualização prejudicada pelas simulações e faz ajustes nas cores utilizadas para melhorar o contraste.

A.0.5.2 *Dicas para aplicação*

- Busque inicialmente por problemas de visualização na interface de forma geral analisando as relações entre elementos da interface. E.g.: “Esse botão, na simulação de protanopia, fica exatamente da mesma cor que a roupa do personagem principal. Isso pode gerar alguma confusão?”
- É importante analisar também os elementos de forma individual, verificando o contraste com os diferentes planos de fundo que podem aparecer durante o jogo. E.g.: “A roupa do personagem principal se mistura com um dos planos de fundo quando visualizada com a simulação de deuteranopia.”
- Aproveite a vantagem de comparar as versões simuladas com a versão original do jogo para tentar identificar partes da interface que ficam invisíveis para jogadores com daltonismo. Caso identificadas, essas áreas devem ser exploradas em testes com jogadores com daltonismo (mais informações na recomendação 7.3.8)
- Lembre-se, a interface de um jogo mobile não costuma ser estática e não será visualizada no *desktop*. Sempre que possível, busque testar o jogo em sua versão jogável, para levar em conta também as animações e transições, e no dispositivo alvo (*smartphones*).
- Caso você esteja com dúvida se há contraste suficiente nas cores escolhidas, você pode utilizar ferramentas de análise de contraste tanto na versão original quanto nas versões simuladas do seu jogo.
- Anote os pontos problemáticos identificados através das simulações para consultar os jogadores com daltonismo. Mesmo que você tenha modificado as cores para melhorar a visualização ou a diferenciação, é importante confirmar com os jogadores se as alterações realizadas foram suficientes. Mais informações na Recomendação 7.3.7.

A.0.5.3 O que não fazer

- Não analise apenas os elementos de forma isolada. Muitos problemas de acessibilidade cromática estão relacionados à diferenciação de elementos que muitas vezes fica prejudicada devido ao uso exclusivo de cores.

A.0.6 Fique atento aos *feedbacks* visuais e a outros elementos que não estão sempre à vista na tela do jogo

Esta recomendação foi baseada nos resultados de EXP1 e EXP2.

Jogos digitais são produtos interativos e, muitas vezes, partes das suas interfaces são exibidas apenas caso o jogador tome determinadas escolhas ou cometa erros. É importante que todas essas pequenas partes sejam cromaticamente acessíveis. Como designers e desenvolvedores do jogo analisado, é mais fácil saber quando e onde acessar todos esses cantinhos da interface. Entretanto, é preciso ter cuidado para não esquecer de analisar algum, especialmente quando o jogo é complexo.

Em um experimento que testou a identificação de problemas de acessibilidade cromática em um protótipo de jogo mobile, a maior parte dos problemas não identificados pelos participantes estavam localizados em *feedbacks* visuais que só eram exibidos quando os jogadores coletavam um fruta estragada ou eram atacados por um inimigo 14. E isso foi verdade tanto para os participantes com daltonismo quanto para os participantes designers e desenvolvedores com visão de cores típica (utilizando simulações de daltonismo).

Figura 14 – Demonstração de *feedback* de dano com simulações de protanopia e deuteranopia



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Ao esbarrar com um inimigo, o jogador perde uma vida, o personagem principal é empurrado para trás e a tela fica avermelhada por alguns segundos. Alguns participantes do

grupo de designers e desenvolvedores, por não terem esbarrado nos inimigos foram incapazes de identificar o *feedback*. Em entrevista, outros participantes alegaram “não ter prestado atenção” naquelas partes da interface. Enquanto isso, participantes com daltonismo afirmaram não terem percebido o *feedback* de cor, conseguindo identificar o dano apenas porque o personagem principal é jogado para trás.

A.0.6.1 Cenários

- **Cenário de problema:** Você costuma testar seus jogos utilizando simulações de daltonismo em busca de problemas de acessibilidade cromática, entretanto, você acaba esquecendo de certas partes da interface que nem sempre estão à vista. Por exemplo, você não conseguiu identificar um problema de visualização de cores em um *feedback* visual porque ele só aparece quando você perde uma vida.
- **Cenário de uso:** Você está analisando um protótipo jogável do seu jogo mobile com uma simulação de daltonismo. Para não esquecer nenhuma parte do jogo que precisa ser analisada, você e seu time criaram uma lista. Você inicia a análise jogando o jogo de forma livre e tomando nota dos problemas que identifica pelo caminho. Em seguida, você passa a explorar partes mais específicas da interface que não sugeriram em suas partidas anteriores (e.g.: tela de derrota do jogador, *powerups*, *feedbacks* visuais de dano).

A.0.6.2 Dicas para aplicação

- Por mais que você já tenha criado e analisado os *assets* do seu jogo utilizando as simulações, ainda vale a pena testar novamente como as cores se comportam no contexto de protótipo jogável. Durante o gameplay, fatores como pressa, movimentação e configurações do dispositivo utilizado podem gerar novos problemas que não apareceram anteriormente.
- Crie uma lista de elementos da interface que precisa ser checados em relação a acessibilidade cromática. Essa lista pode ser usada durante uma inspeção com simulações de daltonismo.
- Preste atenção especial ao *feedbacks* visuais. Eles são recursos importantes para que o jogador consiga entender o que está acontecendo na partida.
- Ao criar o plano de testes (tanto com simulações quanto com jogadores), tente incluir cenários de sucesso e falha no jogo, para que assim todos os *feedbacks* sejam experienciados.

A.0.7 *Corrija os problemas identificados, ainda que cosméticos, antes de seguir em frente*

Esta recomendação foi baseada nos resultados de EXP1 e EXP2.

Os problemas de acessibilidade cromática identificados com simulações de daltonismo e *guidelines* são importantes pontos de partida para tornar um jogo mais acessível. Eles podem ajudar a definir o foco da sua pesquisa com jogadores com daltonismo (ver recomendação 7.3.8). Entretanto, é indicado que esses problemas, mesmo que cosméticos (NIELSEN, 1995), sejam solucionados antes de seguir para os próximos passos. No teste com jogadores, a remoção dos problemas mais óbvios pode contribuir para a identificação de novos problemas. Além disso, resolver logo os problemas evita que seu projeto contraia dívidas técnicas ⁶.

Em um experimento que testou a identificação de problemas de acessibilidade cromática em um protótipo de jogo mobile, 90% dos participantes com daltonismo indicaram pelo menos um problema de acessibilidade que não tinha sido previsto pelos pesquisadores. Além disso, caso já tenham sido realizadas propostas de solução dos problemas identificados com as simulações e *guidelines*, os testes com jogadores com daltonismo podem também validar ou indicar problemas nas mudanças executadas na interface.

A.0.7.1 *Cenários*

- **Cenário de problema:** Você e seu time identificaram alguns problemas de acessibilidade cromática no jogo em desenvolvimento com o auxílio das simulações de daltonismo e das *guidelines*. Como próximo passo, vocês querem planejar uma avaliação com jogadores com daltonismo. No entanto, vocês não sabem o que fazer com os problemas já registrados.
- **Cenário de uso:** Você e seu time identificaram alguns problemas no jogo em desenvolvimento através do uso de simulações de daltonismo e *guidelines*. Esses problemas variam desde problemas cosméticos até problemas graves na mecânica principal. Com a data marcada para o teste com jogadores com daltonismo se aproximando, vocês realizam mudanças na interface com o intuito de resolver os problemas identificados. Para isso, vocês usam as *guidelines* e as simulações como guia. Com a remoção desses problemas mais óbvios, os jogadores com daltonismo puderam identificar problemas e sugerir melhorias

⁶ Esse conceito foi introduzido pela primeira vez em 1992, como a dívida contraída com a aceleração do desenvolvimento de projetos de software que resulta em uma série de deficiências que terminam em altas despesas de manutenção (CUNNINGHAM, 1992). Em outras palavras, se trata de uma abordagem de projeto ou construção que é conveniente no curto prazo, mas que cria um contexto técnico no qual o mesmo trabalho custará mais no futuro do que custaria agora (LENARDUZZI *et al.*, 2021)

em detalhes que não foram observados com as simulações. Além disso, os jogadores também sugeriram melhorias para as mudanças já realizadas na interface.

A.0.7.2 Dicas para aplicação

- Utilize as simulações de daltonismo e as orientações oferecidas pelas guidelines para realizar mudanças na interface que resolvam o minimizem os problemas identificados.
- Não deixe os problemas cosméticos para serem resolvidos depois. Eles podem se acumular e acabar se tornando um problema maior e mais difícil de ser resolvido no futuro.
- Seja flexível com a mudanças realizadas para resolver os problemas de acessibilidade cromática. Elas devem poder ser alteradas a partir do *input* dos jogadores com daltonismo.

A.0.8 Utilize as simulações para planejar o foco de pesquisas com jogadores com daltonismo de maneira estratégica

Esta recomendação foi baseada nos resultados de EXP1, EXP2 e EXP3.

Pesquisas com usuários, por si só, custam muito tempo e recursos de um projeto (KULIK *et al.*, 2021). Ao considerar um perfil mais restrito (participantes com tipos de daltonismo variados), os desafios e custos podem ser ainda maiores. Assim, é importante que as pesquisa com jogadores com daltonismo sejam planejadas de forma estratégica, visando aproveitar os recursos dispendidos da melhor forma possível. As análises realizadas utilizando simulações e *guidelines* em etapas prévias às pesquisas com jogadores com daltonismo podem ser utilizadas para guiar o planejamento do método a ser utilizado. A literatura indica que o mais comum é o uso de abordagens tradicionais como observação de uso e entrevistas (FORTES *et al.*, 2017), que podem ser adaptadas para os objetivos relacionados à acessibilidade cromática.

A.0.8.1 Deixe que o participante explore livremente a princípio

Por mais que as simulações de daltonismo ajudem a identificar problemas de acessibilidade cromática relevantes em jogos, a experiência de vida de pessoas com daltonismo é essencial para a criação de jogos que realmente atendam as necessidades desse grupo. Assim, em um contexto de pesquisa com usuários, é indicado buscar identificar suas principais queixas e prioridades.

Uma possibilidade para identificar essas informações é deixar inicialmente que os

jogadores explorem livremente a interface do jogo, utilizando o protocolo *Think Aloud* (FAN *et al.*, 2019). Esse é o momento perfeito para observar quais problemas são mais percebidos pelos participantes e em quais áreas do jogo os participantes apresentam mais dificuldade.

Destaque: Experimentos demonstram que os jogadores com daltonismo comumente (90% dos participantes do experimento) identificam novos problemas que ainda não haviam sido identificados por desenvolvedores utilizando as simulações de daltonismo.

Após essa exploração inicial, é possível seguir um protocolo com tarefas afim de esclarecer pontos sobre problemas identificados previamente ou sobre áreas específicas do jogo, como orientado na recomendação 7.3.8.3.

A.0.8.2 *Busque por problemas que possam ser invisíveis para as pessoas com daltonismo*

Experimentos demonstram que alguns problemas podem não ser identificados em testes com jogadores com daltonismo por serem completamente invisíveis para este grupo de pessoas. No entanto, mesmo não sendo indicado como problema, a falta de visualização de certos elementos pode estar prejudicando a experiência do jogador com daltonismo e até comprometendo o entendimento das mecânicas do jogo.

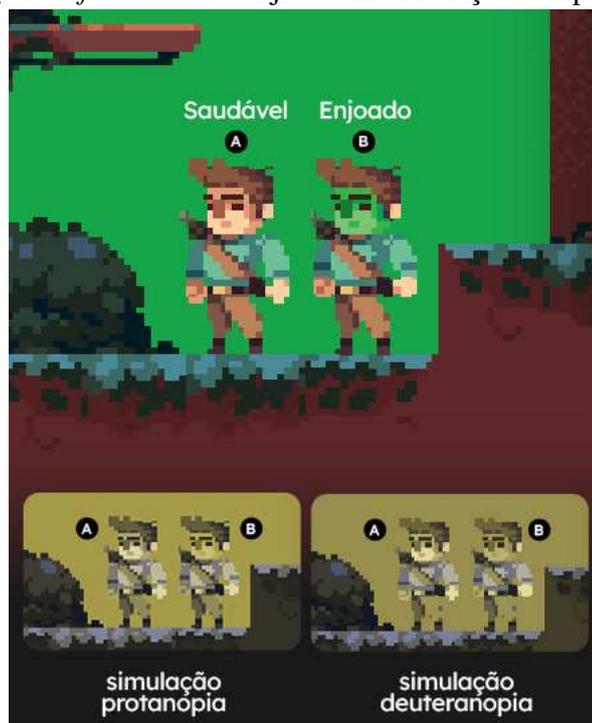
Na imagem 15, observam-se dois estados do personagem principal do jogo utilizado em experimento: saudável (A) e enjoado (B). O estado enjoado acontece quando o jogador coleta uma fruta podre e, além do rosto esverdeado (*feedback* visual), esse estado também deixa o personagem mais lento por 2 segundos. Apenas 1 participante com daltonismo do experimento indicou essa falta de visualização como problema. No entanto, a maior parte dos jogadores com daltonismo não foram capazes de enxergar o *feedback* visual e, por isso, demoraram mais para entender a mecânica da fruta podre. Alguns se mostraram confusos na entrevista pós teste e até relacionaram o efeito de lentidão a causas inexistentes como “lama no terreno”.

Assim, é vantajoso que essas áreas que tem potencial de serem invisíveis para jogadores daltônicos seja identificadas com antecedência e sejam trabalhadas com atenção na pesquisa com esses usuários.

A.0.8.3 *Utilize os pontos problemáticos identificados com as simulações como pontos de discussão*

Para realizar uma pesquisa estratégica com jogadores daltônicos, é necessário preparo e planejamento. Análises prévias feitas com guidelines e simulações de daltonismo podem

Figura 15 – Demonstração de *feedback* de enjoo com simulações de protanopia e deuteranopia



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

servir como atalhos para que as discussões com jogadores com daltonismo tragam poucas surpresas e sejam mais focadas em propostas de solução de problemas do que na identificação de novos problemas. Lembre-se que descobrir problemas de acessibilidade cromática em estágios avançados de desenvolvimento do jogo pode ser muito custoso para o orçamento e para o time de design e desenvolvimento, especialmente em estúdios de menor porte.

Apesar das vantagens de deixar os jogadores explorarem livremente o jogo avaliado (ver recomendação 7.3.8.1), é importante guiá-los às áreas problemáticas previamente identificadas com simulações de daltonismo, especialmente em caso de problemas que podem ser invisíveis para este grupo. Para isso, é recomendado indicar tarefas para os jogadores realizarem dentro do jogo. Isso tornará a avaliação mais objetiva e garantirá que os participantes avaliem todos os pontos elencados como objetivo.

O mesmo se aplica a entrevistas. Em um experimento, percebeu-se que perguntas mais específicas, sobre áreas e ações específicas do jogo, conseguem fomentar discussões e proposições de soluções mais ricas que perguntas mais abrangentes. Essas perguntas podem ser baseadas tanto em áreas identificadas previamente com o auxílio de simulações como também em observações feitas pelos pesquisadores durante a interação do participante com o jogo. Assim, um protocolo de entrevista semiestruturada* é a alternativa ideal para esse tipo de avaliação. É importante sempre se atentar à forma como as perguntas são feitas, para não influenciar na

resposta do participante. Confira alguns exemplos:

- **Objetivo:** identificar se o participante conseguiu perceber um *feedback* visual. Pergunta: Você consegue descrever o que acontece com o personagem quando você coleta um fruta podre?
- **Objetivo:** detalhar um problema percebido durante a observação de uso. Pergunta: Você pode me contar o que aconteceu nesta parte do jogo? Como você descobriu como passar desse obstáculo?
- **Objetivo:** fomentar a proposição de soluções. Pergunta: O que melhoraria sua experiência nessa situação?

A.0.8.4 Cenários

- **Cenário de problema:** Você e seu time gostariam de envolver jogadores com daltonismo em todas as etapas do processo de criação do jogo de vocês, mas vocês só possuem recursos para realizar uma (no máximo duas) avaliações com jogadores. Assim, vocês se sentem pressionados a aproveitar o máximo a oportunidade de receber opiniões desses jogadores. No entanto, você não sabem exatamente o que buscar, o que perguntar e como conduzir este momento.
- **Cenário de uso:** Você e seu time estão planejando uma avaliação de um protótipo do jogo que vocês estão criando com jogadores com daltonismo. Previamente, vocês já realizaram avaliações internas utilizando simulações de daltonismo e *guidelines*. Propostas para resolver ou minimizar os problemas identificados já foram integradas ao protótipo que será avaliado com o jogadores. Vocês utilizam o *framework* DECIDE (ROGERS *et al.*, 2023) para planejar a avaliação e dividem as sessões em duas etapas: observação de uso e entrevista semi-estruturada. Na observação de uso, vocês orientam os participantes a jogar o jogo livremente por um tempo pré-determinado e utilizando o protocolo *Think Aloud* (FAN *et al.*, 2019). Depois dessa exploração inicial, você propõe algumas tarefas baseadas nos problemas identificados previamente com as simulações de daltonismo. Em seguida, na entrevista semi-estruturada, você inicia com perguntas abrangentes (e.g.: como foi a experiência?), para deixar o participante mais confortável e identificar percepções gerais, e segue com perguntas sobre áreas e problemas específicos da interface (baseadas em problemas previamente identificados com simulações ou em observações feitas enquanto o participante jogava na etapa passada). Durante as entrevistas, você busca sempre incentivar

o participante a propor soluções para os problemas identificados. Após a aplicação de todos os testes, você e seu time compilam os resultados e priorizam as alterações que deverão ser realizadas no jogo com base nos dados coletados.

A.0.8.5 *Dicas para aplicação*

- Utilize um *framework* de planejamento de avaliações, especialmente se você ainda não tem muita experiência com pesquisa com usuários. Para isso você pode usar o *framework* DECIDE (ROGERS *et al.*, 2023).
- Tome cuidado ao citar problemas identificados com as simulações antes dos participantes terem comentado sobre ele. O ideal é apontar a área e esperar que o participante cite o problema. Caso isso não aconteça e você queria ainda discutir sobre o assunto, aponte o problema como uma pergunta (e.g.: o que você acha desse elemento? você achou que teve alguma dificuldade em enxergá-lo?)
- Realize um teste piloto interno com o objetivo de testar as perguntas e o tempo médio que a condução da avaliação tomará.
- Durante a condução da avaliação, incentive os jogadores com daltonismo a propor soluções para os problemas identificados. A perspectiva deles é muito importante para a criação de um jogo que contempla a acessibilidade cromática.
- Utilize os dados coletados para priorizar os problemas identificados. Em casos onde nem todos os problemas poderão ser solucionados, as opiniões dos participantes da avaliação podem ajudar o time a definir quais são os problemas que, se solucionados, terão o maior impacto positivo na experiência dos jogadores com daltonismo.

A.0.8.6 *O que não fazer*

- Não seja capacitista em seu contato com os jogadores. Lembre-se que o termo correto a ser usado é Pessoa com Deficiência (PCD) ou, de forma mais específica, Pessoa com Daltonismo. A deficiência não se “tem” ou se “porta”, ela é uma condição existencial da pessoa. Para mais informações, consulte o guia sobre capacitismo criado pelo Tribunal Superior do Trabalho (TST).
- Não influencie a opinião dos participante com perguntas tendenciosas ou confusas. Evite negações nas perguntas.
- Não faça perguntas fechadas que permitam que o participantes responda com sim ou não.

Perguntas mais abertas podem trazer um maior aprofundamento para os comentários dos jogadores.

A.0.9 Explore com jogadores com daltonismo os significados das cores escolhidas para o jogo

Esta recomendação foi baseada nos resultados de EXP1, EXP2 e EXP3.

Cores são comumente utilizadas em jogos para representar aspectos narrativos e de usabilidade. Entretanto, é difícil chegar a um consenso sobre os significados atribuídos a uma cor pois eles são contextuais, dependendo das associações realizadas pelos criadores dos jogos e até de experiências prévias do jogador [1]. Além disso, no caso dos jogadores com daltonismo, as cores são fisicamente percebidas de forma diferentes. Sendo assim, avaliar questões relacionadas ao significado de cores em jogos utilizando simulações de daltonismo é uma tarefa bem difícil. É importante que estas relações de significado sejam observadas junto a jogadores com daltonismo.

Experimentos demonstraram que, quando apresentados a uma cor no contexto de um jogo e duas alternativas de significados, os participantes dificilmente concordam no significado atribuído a essa cor. Ademais, foram identificadas situações em que interpretação de jogadores com daltonismo e de jogadores com visão típica (utilizando simulação de daltonismo) tendem a significados opostos. No entanto, é importante atentar-se ao brilho das cores utilizadas. Foi observado que cores mais claras chamam mais atenção dos jogadores e tendem a ser associadas com significados mais positivos (e.g.: personagens usando roupas com cores mais escuras podem ser lidos como inimigos).

Figura 16 – Frutas com efeitos opostos e simulação de protanopia



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

As frutas apresentadas na imagem 16 foram utilizadas em um dos experimentos que embasam essas recomendações. A fruta vermelha era a fruta boa enquanto a fruta amarelada era a

fruta podre que prejudicava o jogador na partida. Ao aplicar a simulação de protanopia, as frutas passam a ter uma matiz parecida, sendo diferenciadas apenas pelo brilho. Tanto participantes com daltonismo quanto participantes com visão típica (utilizando simulação de daltonismo) reportaram que se confundiram e coletaram algumas frutas podres porque elas pareciam mais claras e brilhantes que as frutas boas.

A.0.9.1 Cenários

- **Cenário de problema:** Através das simulações e das *guidelines*, você conseguiu identificar e solucionar problemas de visualização e diferenciação de elementos. Entretanto, você ainda se sente inseguro se as cores utilizadas estão passando a mensagem correta para que os jogadores com daltonismo possam jogar o seu jogo.
- **Cenário de uso:** Você está desenvolvendo um jogo e resolveu utilizar simulações de daltonismo para melhorar a acessibilidade cromática. Durante as análises, você suspeita que foram atribuídos significados a algumas cores durante o design que podem não ser compreendidos por jogadores com daltonismo. Durante testes com esses jogadores, você observa se surgem problemas nas partes do jogo que utilizam essas cores. Além disso, em entrevista, você explora a opinião dos participantes sobre as cores utilizadas e, caso seja identificado problema, busca possibilidades para melhorar a acessibilidade cromática junto ao jogador.

A.0.9.2 Dicas para aplicação

- Procure identificar previamente áreas da interface em que o significado das cores são importantes para o entendimento de alguma informação. Você pode utilizar simulações de daltonismo para auxiliar esta atividade.
- Caso você utilize uma outra maneira para explicar o significado das cores usando outros tipos de elementos (e.g. formas, brilho), mostre esses elementos sempre que eles forem necessários. Não conte com a memória do jogador.
- Consulte os jogadores com daltonismo sobre o sentimento geral que a interface do jogo passa para eles e compare com o sentimento pretendido pelos designers. Caso eles sejam completamente destoantes, considere fazer ajustes na paleta de cores ou até mesmo na forma de elementos do jogo para reforçar o sentimento pretendido.

A.0.9.3 *O que não fazer*

- Evite atribuir significado a cores. Caso não seja possível, ofereça outras formas de transmitir a mesma informação sem o uso das cores.
- Não tire conclusões sobre o significado das cores dos seus jogos através de simulações de daltonismo. Essas ferramentas podem ser utilizadas para identificar pontos de atenção mas, como a atribuição de significado é muito contextual, não é seguro tomar decisões sobre esse assunto sem consultar jogadores com daltonismo.

A.1 **Materiais complementares**

Nesta seção, você encontra sugestões de *guidelines* de acessibilidade para jogos e ferramentas de simulação de daltonismo.

A.1.1 *Guidelines de acessibilidade para jogos*

- Game Accessibility Guidelines Top Ten - IGDA-GASIG: <https://igda-gasig.org/how/sig-top-ten/>
- A Practical Guide to Game Accessibility (Includification) - The AbleGames Foundation: <https://accessible.games/includification/>
- Accessible Player Experiences - The AbleGames Foundation: <https://accessible.games/accessible-player-experiences/>
- XBox Accessibility Guidelines: <https://learn.microsoft.com/en-us/gaming/accessibility/guidelines>
- Game Accessibility Guidelines: <https://gameaccessibilityguidelines.com/>

A.1.2 *Ferramentas*

- SDO (Ferramenta de simulação em realidade aumentada): https://sol.sbc.org.br/index.php/webmedia_estendido/article/view/13073
- Stark (Plug-in para diferentes ferramentas gráficas com simulação de daltonismo): <https://www.getstark.co/>
- Color Oracle (Ferramenta de simulação de daltonismo para desktop): <https://colororacle.org/index.html>

- Daltonlens (Ferramenta online de simulação de daltonismo):
<https://daltonlens.org/colorblindness-simulator>
- Color Contrast Checker (Ferramenta online de avaliação de contraste de cores):
<https://accessibleweb.com/color-contrast-checker/>

|