

AUDIOLIVROS MULTISSENSORIAIS: MODELO, DESENVOLVIMENTO E  
IMPLEMENTAÇÃO DE UMA NOVA EXPERIÊNCIA DE LEITURA PARA  
USUÁRIOS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

Helder Yukio Okuno

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de mestre.

Orientador:  
Gustavo Paiva Guedes e Silva

Rio de Janeiro,  
Fevereiro de 2023

**Audiolivros Multissensoriais: modelo, desenvolvimento e  
implementação de uma nova experiência de leitura para usuários com  
deficiência visual**

Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ.

Helder Yukio Okuno

Aprovada por:

---

Presidente, Prof. Gustavo Paiva Guedes e Silva, D.Sc. (orientador)

---

Prof. Glauco Fiorott Amorim, D.Sc.

---

Prof. Maria da Graça Campos Pimentel, D.Sc. (USP)

Rio de Janeiro,  
Fevereiro de 2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

O41 Okuno, Helder Yukio.

Audiolivros multissensoriais: modelo, desenvolvimento e implementação de uma nova experiência de leitura para usuários com deficiência visual / Helder Yukio Okuno. — 2023.  
48f. + apêndice : il. color. , enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2023.

Bibliografia : f. 41-48

Orientador: Gustavo Paiva Guedes e Silva

1. Sistemas multimídia. 2. Livros falados. 3. Deficiência visual - Multimídia interativa. 3. Educação - Acessibilidade. I. Silva, Gustavo Paiva Guedes e (Orient.). II. Título.

CDD 006.6

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e à minha  
querida esposa Marcelle Torres, por todo apoio,  
compreensão e amor.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por restaurar minha saúde e permitir a condução desta dissertação.

Aos meus pais por todo apoio e compreensão da minha ausência momentânea.

À minha querida esposa Marcelle Torres, por compartilhar as alegrias e os desafios do mestrado, e por toda paciência, carinho e amor.

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Gustavo Guedes, por acreditar em mim e permitir que este trabalho fosse possível.

Ao corpo docente do PPCIC, por todo apoio, excelência e dedicação ao Programa.

Ao Prof. Dr. Silvino Netto pela escrita da primeira história para os audiolivros multissensoriais e a narradora da história Maitê Coropos de Oliveira.

A todos do CEFET Nova Friburgo, especialmente os professores Simone Emiliano, Rafael Guimarães, Rodrigo Gomes, Bruno Policarpo, Edvar Batista e André Mello.

A todos que torceram pelo resultado deste trabalho, especialmente os amigos Flavio Carvalho, Raphael Abreu, Erica Carneiro, Byatriz Rosa e Patrick Sardou.

A todos os voluntários da AFRIDEV e do Instituto Benjamin Constant que participaram dos experimentos e muito contribuíram para os resultados deste trabalho.

## RESUMO

Audiolivros Multissensoriais: modelo, desenvolvimento e implementação de uma nova experiência de leitura para usuários com deficiência visual

Helder Yukio Okuno

Orientador:

Gustavo Paiva Guedes e Silva

Resumo da Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de mestre.

O desenvolvimento de soluções de tecnologia assistiva para indivíduos com deficiência visual é essencial, em especial no campo da educação, pois proporciona a integração na sociedade, autonomia, inclusão social e digital. Diversas funcionalidades neste campo foram desenvolvidas, como os leitores de tela (e.g., TalkBack do Android e VoiceOver do iPhone), permitindo aos indivíduos com deficiência visual maior autonomia, como a troca de mensagens instantâneas e a audição de histórias narradas, como os audiolivros. Em 2011, a Organização Mundial da Saúde destacou no Relatório Mundial sobre Deficiência a importância de soluções de tecnologia assistiva como os audiolivros. Inspirado nesse relatório, o presente trabalho propõe o aprimoramento da leitura dos audiolivros tradicionais aplicando os conceitos de Multimídia Multissensorial, dado que pesquisas nessa área indicam que efeitos multissensoriais (e.g., vento, aroma) têm viabilizado uma maior imersão do usuário, processo que também é conhecido como Qualidade de Experiência (QoE). Aprimorar a QoE dos indivíduos com deficiência visual permite aumentar a percepção da história narrada, a compreensão e a imersão no imaginário. Nesse cenário, este trabalho apresenta o desenvolvimento do modelo denominado audiolivros multissensoriais e as versões iniciais do aplicativo intitulado MulseBook Audio. Além disso, propõe o desenvolvimento da versão 3.0 do aplicativo MulseBook Audio e descreve os resultados dos experimentos com voluntários com deficiência visual. Os experimentos foram realizados para validar o modelo desenvolvido, além de avaliar a usabilidade do novo aplicativo e a QoE desses usuários ao utilizarem os audiolivros multissensoriais. Ao total, onze voluntários participaram do experimento que consistiu na leitura de um audiolivro multissensorial e, em seguida, foram convidados a responder o questionário de Avaliação da QoE, baseado no EGameFlow, e o questionário padronizado System Usability Scale (SUS), a fim de avaliar a usabilidade do MulseBook Audio 3.0 e o quanto os efeitos multissensoriais influenciam na experiência da leitura. Os resultados alcançaram o escore médio 4,6 de 5 pontos da QoE e a pontuação de 96,6 de 100 na usabilidade. Vale ressaltar que esse estudo foi aprovado no Comitê de Ética em Pesquisa sob os protocolos 53886421.0.0000.5626 e 46544321.5.0000.5289.

Palavras-chave:

Audiolivros Multissensoriais, Deficiência Visual, Multiple Sensorial Media, MulSeMedia

Rio de Janeiro,

Fevereiro de 2023

## ABSTRACT

Audiolivros Multissensoriais: modelo, desenvolvimento e implementação de uma nova experiência de leitura para usuários com deficiência visual

Helder Yukio Okuno

Advisors:

Gustavo Paiva Guedes e Silva

Abstract of dissertation submitted to Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of master.

The development of assistive technology solutions for visually impaired individuals is essential, especially in the educational area, as it provides integration into society, autonomy, and social and digital inclusion. Several functionalities in this field have been developed, such as screen readers (e.g., TalkBack on Android and VoiceOver on iPhone), allowing individuals with visual impairments greater autonomy, such as exchanging instant messages and listening to narrated stories, such as audiobooks. In 2011, the World Health Organization highlighted in the World Report on Disability the importance of assistive technology solutions such as audiobooks. Inspired by this report, the present work proposes to improve the reading of traditional audiobooks by applying the concepts of Multiple Sensorial Media (MulSeMedia), given that research in this area indicates that multisensory effects (e.g., wind, aroma) have enabled a greater immersion of the user, process that is also known as Quality of Experience (QoE). Improving the QoE of individuals with visual impairments allows for increasing the perception of the narrated story, understanding, and immersion in the imaginary. In this scenario, this work presents the development of the model called multisensorial audiobooks and the initial versions of the application entitled MulseBook Audio. In addition, this work proposes the development of version 3.0 of the MulseBook Audio application and describes the results of experiments with visually impaired volunteers. The experiments were carried out to validate the developed model, in addition to evaluating the usability of the new application and the QoE of these users when using multisensorial audiobooks. In total, eleven volunteers participated in the experiment, which consisted of reading a multisensorial audiobook and then were invited to answer the QoE Assessment questionnaire, based on EGameFlow, and the standardized System Usability Scale (SUS) questionnaire in order to evaluate the usability of MulseBook Audio 3.0 and how much the multisensory effects influence the reading experience. The results achieved an average QoE score of 4.6 out of 5 points and a usability score of 96.6 out of 100. It is worth mentioning that the Research Ethics Committee approved this study under protocols 53886421.0.0000.5626 and 46544321.5.0000.5289.

Key-words:

Multisensorial Audiobooks, Visual Impairment, Multiple Sensorial Media, MulSeMedia

Rio de Janeiro,  
Fevereiro de 2023

## Sumário

<b>I</b>	<b>Introdução</b>	<b>14</b>
I.1	Motivação	15
I.2	Objetivos	16
I.3	Estrutura	17
<b>II</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>18</b>
II.1	Deficiência Visual	18
II.2	Tecnologia Assistiva	20
II.3	Multiple Sensorial Media (MulSeMedia)	22
II.4	Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web (WCAG)	23
<b>III</b>	<b>Trabalhos Relacionados</b>	<b>25</b>
<b>IV</b>	<b>Audiolivros Multissensoriais</b>	<b>29</b>
IV.1	Linha do tempo do desenvolvimento dos Audiolivros Multissensoriais	29
IV.2	Modelo dos Audiolivros Multissensoriais	30
IV.3	Plataforma de controle Multimídia Multissensorial (MulSeMedia)	31
IV.4	Sincronismo dos efeitos multissensoriais	34
IV.5	Ferramenta de autoria para audiolivros multissensoriais	35
IV.6	Aplicativo MulseBook Audio	37
IV.6.1	MulseBook Audio 2.0	38
IV.6.2	MulseBook Audio 3.0	40
<b>V</b>	<b>Experimentos</b>	<b>42</b>
V.1	Avaliação da Qualidade de Experiência	43
V.2	Avaliação da Usabilidade do Sistema	45
<b>VI</b>	<b>Conclusão</b>	<b>50</b>
VI.1	Contribuições	51
VI.2	Limitações	52

VI.3 Trabalhos futuros	53
Referências Bibliográficas	54
<b>A Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)</b>	<b>62</b>
<b>B História - Cida e Adão em uma experiência multissensorial</b>	<b>64</b>
<b>C Código-fonte do controlador server-side</b>	<b>66</b>
<b>D XML Schema - Anotação dos efeitos multissensoriais</b>	<b>70</b>
<b>E Resultados do Scanner de Acessibilidade do Google</b>	<b>71</b>
<b>F Resultados do Scanner de Acessibilidade do Google após a aplicação das melhorias</b>	<b>73</b>
<b>G Questionário de Avaliação da Qualidade de Experiência (QoE)</b>	<b>74</b>
<b>H Questionário de Avaliação da Escala de Usabilidade do Sistema (SUS)</b>	<b>76</b>

## Lista de Figuras

II.1	Tabela Snellen. Adaptado de Snellen [1873].	19
IV.1	Linha do tempo do desenvolvimento do modelo dos audiolivros multissensoriais.	30
IV.2	Modelo dos Audiolivros Multissensoriais.	31
IV.3	Diagrama de conexão entre os dispositivos e equipamentos com a placa de controle Raspberry Pi 3.	32
IV.4	Usuário utilizando o aplicativo MulseBook Audio e os dispositivos que reproduzem os efeitos multissensoriais. Na imagem, destacam-se o ventilador, a caixa de som e o difusor de aromas.	33
IV.5	Diagrama de conexão entre a placa de controle Raspberry Pi 3 com o relé, emissor e receptor de infravermelho.	33
IV.6	Trecho do arquivo XML anotado do audiolivro “Cida e Adão em uma experiência multissensorial”.	34
IV.7	Interface da ferramenta MAAT: sincronização dos efeitos multissensoriais com o áudio do livro narrado. Adaptado de Okuno and Guedes [2020].	36
IV.8	Primeira versão do MulseBook Audio: (a) tela inicial; (b) tela para escolha do audiolivro; e (c) tela para reprodução do audiolivro. Adaptado de Okuno et al. [2020]	37
IV.9	MulseBook Audio 2.0: (a) tela inicial; (b) tela para escolha do audiolivro por rolagem vertical; e (c) tela para reprodução do audiolivro com opções de personalização de preferência do usuário.	40
IV.10	MulseBook Audio 3.0: baseado na última versão, o novo aplicativo possui: (a) tela inicial; (b) tela para escolha do audiolivro por rolagem vertical; e (c) tela para reprodução do audiolivro com opções de personalização de preferência do usuário.	41
V.1	Voluntários do Instituto Benjamin Constant participando do experimento.	43
V.2	Média das respostas do Questionário da Avaliação da Qualidade de Experiência (QoE).	45

## Lista de Tabelas

II.1	Classificação da gravidade da deficiência visual. Adaptado de WHO [2021].	19
II.2	Diretrizes e critérios de sucesso para o Nível A da WCAG. Extraído de W3C [2018].	24
IV.1	Inconformidades identificadas no aplicativo MulseBook Audio 1.0 conforme as diretrizes WCAG.	39
IV.2	Comparativo com todas as versão do MulseBook Audio.	41
V.1	Dados demográficos dos voluntários	42
V.2	Pontuação Likert do questionário de Avaliação da Qualidade de Experiência (QoE)	44
V.3	Pontuação do SUS com as respectivas classificações de usabilidade. Adaptado de Sasmito et al. [2019].	46
V.4	Pontuação Likert contendo os dados brutos do questionário de Avaliação de Usabilidade do Sistema	47
V.5	Resultado do questionário de Avaliação de Usabilidade do Sistema	48

## Lista de Abreviações

MAAT	Multisensorial Audiobooks Authoring Tool	35, 36, 37, 50, 51
MULSEBOOK AUDIO	Multisensorial Audiobooks	16, 17, 23, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 46, 47, 49, 50, 51, 53
MULSEMEDIA	Multiple Sensorial Media	15, 16, 17, 22, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 35, 50, 53
OMS	Organização Mundial Da Saúde	14, 18, 20, 22
QOE	Qualidade De Experiência	14, 15, 16, 17, 22, 25, 26, 28, 30, 31, 42, 43, 44, 45, 49, 51
SUS	System Usability Scale	16, 42, 43, 45, 46, 47, 49, 51
W3C	World Wide Web Consortium	23
WCAG	Web Content Accessibility Guidelines	28, 29, 38, 39, 40, 50, 51

## Capítulo I Introdução

As pesquisas em soluções tecnológicas visando a inclusão de usuários com necessidades especiais vêm crescendo nos últimos anos [Buhalis et al., 2019; Portet et al., 2013]. O uso de soluções como rastreadores oculares, assistentes pessoais controlados por voz (*e.g.*, Amazon Echo, Google Home), audiolivros, dentre outros, possibilitam a inclusão digital desses usuários [Karlsson et al., 2018; Pradhan et al., 2018]. Em 2011, a Organização Mundial da Saúde (OMS) publicou o Relatório Mundial sobre a Deficiência, no qual destacou a importância do desenvolvimento de soluções de tecnologia assistiva para a inclusão digital de usuários com deficiência visual, ressaltando, sobretudo, o potencial dos audiolivros [WHO, 2011].

Os audiolivros são definidos como sendo um livro em áudio, ao qual a narração pode ser gravada pelo próprio autor da obra, um dublador profissional ou, ainda, uma voz sintetizada gerada por uma inteligência artificial [Menezes and Ribeiro, 2008; Have and Pedersen, 2015]. O ato de envolver-se com livros por meio da audição permanece por toda a cronologia dos livros, assim como as tradições de contar uma história oralmente [Cavallo and Chartier, 2003; Rubery, 2017]. Assim sendo, os audiolivros oferecem um novo meio de leitura aos usuários, mais moderno e tecnológico, permitindo a leitura de livros enquanto outras tarefas são realizadas, como o deslocamento em meios de transporte ou práticas esportivas.

A comercialização dos audiolivros no Brasil teve início em 1970 e logo popularizou-se pelo aspecto de modernidade e facilidade de utilização [Menezes and Ribeiro, 2008]. Por meio da utilização de audiolivros, a leitura em formato de áudio tornou-se mais intuitiva, auxiliando os usuários com ou sem dificuldades a aprimorarem a experiência da leitura. Também, as recentes pesquisas sobre livros e audiolivros multissensoriais [Guedes, 2018; Okuno et al., 2020] têm apresentado importantes avanços na área da educação ao aprimorarem a Qualidade de Experiência (QoE) dos usuários, especialmente de crianças com dislexia [Silva et al., 2021]. Entretanto, vale ressaltar que alguns livros multissensoriais utilizam rastreadores oculares, não contemplando pessoas com deficiência visuais. Por outro lado, os audiolivros multissensoriais são uma extensão dos audiolivros tradicionais, objetivando o aprimoramento da QoE ao estimularem os sentidos humanos durante o processo de leitura de usuários com baixa visão ou cegos [Okuno et al., 2020].

Visando aprimorar a QoE de usuários com baixa visão ou cegos, desenvolvemos o primeiro modelo de audiolivro multissensorial intitulado *Multisensorial Audiobooks*. Esse modelo combina

recursos de mídia tradicional (*e.g.*, texto, áudio) com efeitos multissensoriais (*e.g.*, aroma, háptico) que estimulam os sentidos humanos. Vale destacar que, para uma aplicação multimídia ser denominada multissensorial, ao menos três dos sentidos humanos devem ser estimulados por essa aplicação, sendo classificada como uma aplicação Multiple Sensorial Media (MulSeMedia) [Ghinea et al., 2014]. Dessa forma, as aplicações MulSeMedia têm viabilizado uma maior imersão e aprimorado a percepção do usuário, que se encontra imerso em um mundo virtual [Timmerer et al., 2012; Covaci et al., 2019; Brunnström et al., 2013].

## I.1 Motivação

Segundo a Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, da Organização das Nações Unidas, os indivíduos com deficiência são “aqueles que têm impedimentos de natureza física, intelectual ou sensorial, os quais, em interação com diversas barreiras, podem obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade com as demais pessoas” [ONU, 2006]. De acordo com Diniz [2017], a deficiência visual, assim como as demais deficiências, é uma das diversas formas corporais de existir no mundo e que exige condições sociais favoráveis para esse estilo de vida. Estima-se que 6,5 milhões de brasileiros possuam deficiência visual, sendo 500 mil com perda total da visão e 6 milhões com grande dificuldade de enxergar (baixa visão) [IBGE, 2010]. Dessa forma, as pesquisas em soluções tecnológicas visando indivíduos com baixa visão ou cegos possuem grande importância, pois permitem diminuir as barreiras físicas desses usuários, além de incluí-los digitalmente, promovendo a democratização da tecnologia.

As soluções de tecnologia assistiva potencializam e aprimoram as capacidades funcionais de usuários com deficiência, permitindo uma vida independente com acesso a informações e experiências inovadoras aos indivíduos com baixa visão ou cegos, por exemplo [Rose et al., 2005; Kelly and Smith, 2011]. As pesquisas no campo das soluções de tecnologia assistiva vêm despertando grande interesse da comunidade acadêmica, devido principalmente à relevância no impacto social - em meados de 1990 cerca de 50 publicações eram encontradas e em 2004 somavam-se mais de 400 publicações científicas [Bhowmick and Hazarika, 2017]. Essas pesquisas podem compreender desde bases fisiológicas relacionadas à perda de visão e de membros, aspectos psicológicos, até soluções de tecnologia assistiva, como auxílio no reconhecimento de objetos, mobilidade, acesso à informação, entretenimento e educação, dentre outros [Manduchi and Kurniawan, 2018].

Muitos estudos são encontrados na literatura sobre o aprimoramento de livros eletrônicos (*e-books*) e livros multissensoriais [Wauters and Dirks, 2017; Judge et al., 2015; Guedes, 2018]. Por outro lado, poucas pesquisas procuram estender os audiolivros tradicionais. Nesse cenário, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver e validar o modelo dos audiolivros multissensoriais, uma nova extensão dos audiolivros tradicionais. Este modelo objetiva aprimorar a QoE do leitor e

considerar a acessibilidade de usuários com deficiência visual.

Os audiolivros multissensoriais, ao implementarem recursos multissensoriais durante a audição da história, são classificados como uma aplicação MulSeMedia. As aplicações MulSeMedia incluem modalidades sensoriais, como a tátil, a olfativa e a gustativa, em conjunto com as mídias tradicionais de áudio e vídeo, proporcionando experiências multissensoriais aos usuários. Essas experiências multissensoriais são estudadas no campo da psicologia e possibilitam o desenvolvimento de novas pesquisas científicas, produtos para a indústria do entretenimento e tecnologias imersivas [Ghinea et al., 2014; Sulema, 2016]. Dessa forma, os audiolivros multissensoriais promovem benefícios aos indivíduos com baixa visão ou cegos: (i) permitem a inclusão digital; (ii) permitem o acesso ao entretenimento e à educação; (iii) a QoE é aprimorada por meio dos efeitos multissensoriais no decorrer da leitura, e; (iv) despertam a imaginação e a criatividade para, assim, elevar o bem-estar desses usuários [Alkawasbeh and Ghinea, 2020; Xu et al., 2015].

## I.2 Objetivos

A percepção do usuário quando imerso no mundo virtual é um complexo conjunto de processos onde há a conversão dos estímulos recebidos pelos sensores biológicos em sinais neurais. A transmissão e o processamento desses sinais ocorre pelo sistema nervoso central, resultando na percepção do usuário relacionada diretamente com a QoE [Mesfin et al., 2020; Möller and Raake, 2014]. A QoE pode ser mensurada segundo o nível de satisfação do usuário ou o seu descontentamento ao utilizar um aplicativo ou serviço, considerando tanto avaliações subjetivas quanto objetivas [Ademoye et al., 2016; Walzl et al., 2010; Egan et al., 2016; Keighrey et al., 2017]. Nesse aspecto, pesquisas apontam que usuários que tiveram experiências com a MulSeMedia apresentaram aumento significativo da QoE [Jalal et al., 2018; Monks et al., 2017; Murray et al., 2016].

Diante desse cenário, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver e validar o modelo dos audiolivros multissensoriais no aprimoramento da Qualidade de Experiência (QoE) dos usuários com deficiência visual. Para isso, este trabalho apresenta as versões iniciais e desenvolve a versão 3.0 do aplicativo com base nesse modelo, intitulado Multisensorial Audiobooks (MulseBook Audio), além da realização de experimentos com esses usuários. Após os experimentos, dois questionários são aplicados: a Avaliação da Qualidade de Experiência (QoE), com base no questionário EGameFlow [Fu et al., 2009], e o System Usability Scale (SUS) [Brooke et al., 1996]. Os usuários com deficiência visual, ao utilizarem o leitor de tela (*e.g.*, TalkBack do Android), podem avaliar as funcionalidades e a *interface* gráfica do novo aplicativo MulseBook Audio 3.0, além de avaliar a influência dos efeitos multissensoriais durante a leitura da história.

Mediante a aprovação de dois projetos<sup>1</sup> pelo Comitê de Ética em Pesquisa, os experimen-

---

<sup>1</sup>Certificados de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) 53886421.0.0000.5626 e 46544321.5.0000.5289

tos foram conduzidos, inicialmente, nas instalações do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), unidade de Nova Friburgo, em parceria com a Associação Friburguense de Integração dos Deficientes Visuais (AFRIDEV). Em seguida, os experimentos foram realizados no Instituto Benjamin Constant, instituto de referência nacional de educação para pessoas com deficiência visual. Dessa forma, este trabalho validou o modelo dos audiolivros multissensoriais e avaliou a QoE dos usuários com deficiência visual ao experienciarem os audiolivros multissensoriais por meio da nova versão do aplicativo MulseBook Audio 3.0.

### I.3 Estrutura

Além do capítulo de introdução apresentado anteriormente, este trabalho está estruturado em mais cinco capítulos. O Capítulo II apresenta os conceitos-chave abordados nesta pesquisa para o entendimento da proposta apresentada. Desta forma, apresenta mais detalhes sobre deficiência visual, tecnologia assistiva, *Multiple Sensorial Media* (MulSeMedia) e as Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web (WCAG).

O Capítulo III apresenta os importantes trabalhos relacionados a esta dissertação. Destacamos os trabalhos relacionados à análise e ao desenvolvimento de protótipos e aplicativos que implementam recursos multissensoriais nos campos da leitura e da educação.

O Capítulo IV trata das contribuições deste trabalho. Inicialmente, apresentamos a linha de tempo do desenvolvimento do modelo dos audiolivros multissensoriais. Em seguida, descrevemos o modelo dos audiolivros multissensoriais e o desenvolvimento da plataforma de controle MulSeMedia. Logo após, detalhamos o sincronismo dos efeitos multissensoriais, o desenvolvimento da ferramenta de autoria para audiolivros multissensoriais, as primeiras versões do aplicativo MulseBook Audio e o desenvolvimento da versão 3.0 do MulseBook Audio com a implementação das diretrizes WCAG e a compatibilidade com o *TalkBack* visando a inclusão de usuários com baixa visão ou cegos.

Os experimentos com usuários com baixa visão ou cegos são apresentados no Capítulo V. Descrevemos a validação do modelo dos audiolivros multissensoriais, bem como a avaliação da Qualidade de Experiência (QoE) desses usuários ao utilizarem o aplicativo MulseBook Audio 3.0 para a leitura dos audiolivros multissensoriais. Apresentamos também os resultados das avaliações e os comentários dos voluntários que participaram do experimento.

Por fim, no Capítulo VI debatemos os resultados obtidos e as contribuições alcançadas. Também apresentamos as limitações encontradas ao longo da realização dos experimentos. Por fim, apresentamos cenários futuros para a continuidade do estudo.

## Capítulo II Fundamentação Teórica

Neste capítulo são apresentados os conceitos-chave para o desenvolvimento deste trabalho. Na Seção II.1 são abordados os conceitos sobre a deficiência visual e suas classificações. Em seguida, a Seção II.2 apresenta a definição de soluções de tecnologia assistiva e os principais produtos apresentados ao mercado. A Seção II.3 discorre sobre o conceito *Multiple Sensorial Media* e suas possibilidades ao estimular os sentidos humanos em aplicações multimídia. Por fim, a Seção II.4 apresenta as Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo WEB (WCAG).

### II.1 Deficiência Visual

A Organização Mundial da Saúde (OMS) define que a deficiência visual é a redução ou a perda da capacidade de enxergar mesmo utilizando-se de meios de correção, como os óculos ou a cirurgia [WHO, 2004]. Segundo a Agência Internacional para a Prevenção da Cegueira (IAPB), estima-se que, em 2021, globalmente, 43 milhões de pessoas possuam cegueira e 295 milhões vivam com deficiência visual moderada a grave [IAPB, 2021]. A deficiência visual influencia no desempenho escolar de crianças, podendo apresentar atrasos no desenvolvimento motor, cognitivo e social, por exemplo, afetando futuramente a qualidade de vida. Também, adultos com deficiência visual têm menos participação na força de trabalho, o que pode provocar o aumento de doenças como depressão e ansiedade [Osaba et al., 2019; Frick et al., 2007].

Para avaliar a capacidade de enxergar, o Relatório Mundial sobre a Visão, também da OMS, define que a deficiência visual é clinicamente diagnosticada por meio do teste da acuidade visual. A acuidade visual mede a capacidade do sistema ocular em identificar objetos ou imagens, e seus respectivos formatos [WHO, 2021]. A OMS utiliza métodos padronizados, como a Tabela de *Snellen* (apresentada na Figura II.1), para indicar o grau de deficiência visual de um indivíduo, classificados como leve, moderado ou grave [Douglas and McLinden, 2004].

A Tabela de *Snellen* [Snellen, 1873] é fixada a uma distância de 20 pés (*i.e.*, aproximadamente 6 metros) do indivíduo que será avaliado. O indivíduo deve realizar a avaliação com o olho que não será avaliado coberto, sem apertá-lo. Em seguida, o mesmo deverá identificar as letras soletrando-as a partir da posição da fileira 1. Caso o mesmo consiga identificar as letras até a fileira 8, representado pelo valor 20/20, é definido, então, que o olho avaliado possui a acuidade visual

normal. Em seguida, o processo deve ser repetido para a avaliação do outro olho [Sue, 2007; Lewis and Norwich, 2004].

As frações existentes na Tabela de *Snellen* apresentam no numerador a distância de um dado objeto ou imagem e, no denominador, a distância que um olho “saudável” consegue enxergar este mesmo objeto. Por exemplo, a fração 20/40 indica que um olho “saudável” consegue enxergar as letras estando a 40 pés ou 12 metros de distância, enquanto um olho com dificuldades precisa estar a 20 pés ou a 6 metros de distância. Assim, o indivíduo que possui alguma deficiência visual tem o número do denominador da fração maior que 20 (*e.g.*, 20/70, 20/200, 20/400) [WHO, 2021].

E	1	20/200
F P	2	20/100
T O Z	3	20/70
L P E D	4	20/50
P E C F D	5	20/40
E D F C Z P	6	20/30
FELOPZD	7	20/25
DEFPOTEC	8	20/20
LEFODPCT	9	
FDPLTCEO	10	
FEZOLCFTD	11	

Figura II.1: Tabela Snellen. Adaptado de Snellen [1873].

A Classificação Internacional de Doenças (CID-11) da OMS classifica a gravidade da deficiência visual por meio da acuidade visual do melhor olho. Na Tabela II.1, os valores são apresentados também em frações, como na Tabela de *Snellen*, porém adotam o padrão em metros. Um olho “saudável”, nesse sentido, é considerado 6/6 [WHO, 2021].

Tabela II.1: Classificação da gravidade da deficiência visual. Adaptado de WHO [2021].

Categories	Acuidade visual no melhor olho
Deficiência visual leve	6/12 a 6/18
Deficiência visual moderada	6/18 a 6/60
Deficiência visual grave	6/60 a 3/60
Cegueira	3/60

Ainda, conforme a classificação CID-11, a OMS define que indivíduos com baixa visão possuem

a acuidade visual menor que 6/18, igual ou melhor que 3/60 (*i.e.*, deficiência visual entre moderada a grave) [WHO, 2021]. Indivíduos com baixa visão ou com visão subnormal possuem um resíduo visual, o que os permite enxergar utilizando a visão central ou visão lateral [Rubin and Legge, 1989]. Por meio desses resíduos visuais, os indivíduos com baixa visão podem ter uma vida mais independente, utilizando, por exemplo, uma bengala ou cão-guia para se locomoverem [Mahmud et al., 2013].

## II.2 Tecnologia Assistiva

De acordo com a Associação da Indústria de Tecnologia Assistiva (ATIA), com sede em Illinois, Estados Unidos, a tecnologia assistiva é qualquer dispositivo, equipamento ou *software* utilizado para expandir, aprimorar ou manter as capacidades funcionais de indivíduos com deficiência. As tecnologias assistivas podem fornecer soluções para diversas deficiências, como cognitiva, espectro autista, mobilidade, comunicação, auditiva, cegueira, baixa visão, dentre outras [ATIA, 2021]. Dessa forma, a tecnologia assistiva busca proporcionar a integração dos indivíduos com deficiência na sociedade e a promoção da inclusão social [Hurst and Tobias, 2011; Michaels and McDermott, 2003].

Em 2017, a OMS desenvolveu a iniciativa intitulada Cooperação Global em Tecnologia Assistiva (GATE). Essa iniciativa global foi criada para honrar os compromissos da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, da Organização das Nações Unidas (ONU), intensificando o acesso a produtos assistivos de alta qualidade para que os indivíduos com deficiência(s) possam ter uma melhor qualidade de vida, de forma digna e produtiva [WHO, 2017]. A agenda dessa iniciativa prevê também observar áreas importantes, como a inovação e a educação [Smith et al., 2018].

No campo da educação, a tecnologia assistiva permite a criação de ambientes mais acessíveis para crianças, pais e educadores. Quando esses ambientes são implementados nas escolas e instituições de ensino, por exemplo, o aluno com deficiência pode ser tão bem-sucedido quanto os demais colegas, permitindo, ainda, uma maior equidade e a integração curricular [Edyburn, 2004]. No entanto, o acesso às tecnologias assistivas podem ser uma barreira por questões financeiras, impedindo que os alunos com deficiência possam utilizá-las em sala de aula [Watson and Johnston, 2007].

O desenvolvimento de um único produto para atender a demanda de todos os tipos de deficiência é inviável [Newell, 2003]. Nesse sentido, o grande número de produtos especializados e adaptados para indivíduos com deficiência desperta um mercado promissor [Plos et al., 2012]. A classificação das tecnologias assistivas permite compreender as necessidades funcionais de um indivíduo com deficiência(s), permitindo, assim, a pesquisa e o desenvolvimento de novas soluções assistivas, a promoção de políticas públicas e o desenvolvimento de um catálogo com produtos e serviços específicos para este público [Bersch, 2008]. Propostas por Bersch [2008], as categorias dos

produtos assistivos são apresentadas abaixo:

- (i) Auxílios para a vida diária: objetos e produtos que auxiliam em atividades do cotidiano, como comer, cozinhar, vestir-se, tomar banho e executar necessidades pessoais. Exemplos: talheres modificados, roupas com *velcro*, dispositivos que identificam se a luz está acesa ou apagada, dentre outros.
- (ii) Comunicação aumentativa e alternativa: recursos, eletrônicos ou não, que permitem a comunicação expressiva e receptiva das pessoas sem a fala ou com limitações da mesma. Exemplos: pranchas com simbologias gráficas que ajudam os usuários a expressarem seus sentimentos, desejos, questões e entendimentos.
- (iii) Recursos de acessibilidade ao computador: equipamentos de entrada (*e.g.*, mouses, teclados, acionadores especiais) e saída (*e.g.*, sons, imagens, informações táteis) para tornar o computador acessível a usuários com deficiência(s), como a visual, a auditiva, a intelectual ou a motora. Exemplos: apontadores como os rastreadores oculares ou por movimento da cabeça, ondas cerebrais, teclados modificados, dentre outros.
- (iv) Sistemas de controle de ambiente: sistemas que permitem indivíduos com limitações locomotoras a controlar remotamente, em ambientes doméstico e profissional, janelas, portas, cortinas, aparelhos eletroeletrônicos, dentre outros. Exemplo: controle remoto por infravermelho, controle de voz ou de piscar os olhos.
- (v) Projetos arquitetônicos para acessibilidade: adaptações de estrutura, reformas em ambientes residenciais ou de trabalho, adaptações em banheiros, rampas e elevadores para remover ou reduzir barreiras de locomoção e uso dessas áreas por indivíduos com deficiência(s).
- (vi) Próteses e órteses: substituição ou ajuste de partes do corpo, faltantes ou de funcionamento comprometido, por membros artificiais ou outros recursos ortopédicos. Exemplos: perna mecânica, coração artificial, bengalas e palmilhas ortopédicas.
- (vii) Adequação postural: posicionadores ou contentores para proporcionar estabilidade e postura para o tronco, cabeça e membros, ajustes para cadeiras de rodas ou outro sistema de sentar para minimizar a pressão na superfície da pele (*e.g.*, almofadas especiais, assentos e encostos anatômicos), dentre outros.
- (viii) Auxílios de mobilidade: veículos motorizados ou não que melhorem a mobilidade pessoal, como cadeiras de rodas manuais e elétricas, bases móveis, andadores, *scooters*, dentre outros.

- (ix) Auxílios para cegos ou com visão subnormal: recursos de aumento, como lupas e lentes, impressoras de pontos *Braille*, grandes telas de impressão e cão guia. Outros exemplos tecnológicos são os audiolivros e os leitores de tela (*e.g.*, *TalkBack* do Android).
- (x) Auxílios para surdos ou com déficit auditivo: auxílios que inclui vários equipamentos, como aparelhos para surdez, telefones com teclado, sistemas com alerta tátil-visual, sistemas de legenda, textos em Libras, campainhas luminosas, dentre outros.
- (xi) Adaptações em veículos: acessórios e adaptações veiculares para o acesso e a condução do veículo, inversões e dimensionadores de pedais, acessórios para guidão, rampas, elevadores e outros implementos para cadeirantes em veículos motorizados ou elétricos (*e.g.*, ônibus, carros, metrô) modificados para uso de transporte pessoal.

Por meio da popularização dos *smartphones*, diversos aplicativos e funcionalidades foram aprimorados para os indivíduos com deficiência. Os leitores de tela, como o *TalkBack* do Android ou o *VoiceOver* do iPhone, permitem aos indivíduos com deficiência visual obter uma maior autonomia, como a troca de mensagens instantâneas (*e.g.*, *Whatsapp*, *Messenger*), a compra de produtos pela *internet*, a leitura de textos em formato PDF e a audição de histórias narradas, como os audiolivros. Vale ressaltar que, em 2011, a OMS destacou, no Relatório Mundial sobre Deficiência, que os audiolivros são um importante exemplo de tecnologia assistiva para a inclusão digital dos indivíduos com deficiência visual [WHO, 2011].

### II.3 Multiple Sensorial Media (MulSeMedia)

Visando a criação de tecnologias mais imersivas e que possibilitem o estímulo dos sentidos humanos (*i.e.*, visão, audição, tato, paladar, olfato), o conceito *Multiple Sensorial Media*, ou MulSeMedia, foi estabelecido por Gheorghita Ghinea [Ghinea et al., 2014]. As aplicações multimídia, ao estimularem ao menos três dos sentidos humanos, são classificadas como aplicações MulSeMedia [Ghinea et al., 2014]. Inicialmente, as aplicações MulSeMedia foram introduzidas na indústria do entretenimento [Jalal and Murrone, 2017], porém logo foram expandidas para outras áreas, como a educação [Zou et al., 2017], a saúde [Robles-Bykbaev et al., 2017], a publicidade [Petit et al., 2015], a leitura de livros [Guedes, 2018], dentre outras. A MulSeMedia, ao estimular os receptores sensoriais humanos combinados aos recursos de mídias tradicionais (*e.g.*, áudio, texto), tem viabilizado uma maior imersão e aprimorado a percepção do usuário, também conhecida como Qualidade de Experiência (QoE - *Quality of Experience*) [Timmerer et al., 2012; Covaci et al., 2019].

As aplicações MulSeMedia estimulam os sentidos humanos por meio dos efeitos multissensoriais, como a alteração da cor e intensidade da iluminação ambiente, efeitos de calor e frio, sonoros, olfativos, gustativos, dentre outros efeitos [Rainer et al., 2012]. Pesquisas na área da ciência cognitiva

apontam que o uso de recursos multissensoriais impulsionam a capacidade de processamento, permitindo, assim, uma maior e mais rápida fixação do conteúdo apresentado [Shams and Seitz, 2008]. Esse fato pode ser compreendido, pois, além de estimular os sentidos humanos, a MulSeMedia também interage com os sentidos interoceptivos, ou seja, os sentidos que representam a consciência emocional [Covaci et al., 2018; Craig, 2003].

#### II.4 Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web (WCAG)

As Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web (WCAG) foram criadas pelo World Wide Web Consortium (W3C) para recomendar melhorias de acessibilidade para conteúdos *web*. Por meio da implementação das diretrizes da WCAG, o conteúdo ficará mais acessível para todos os usuários, incluindo os que possuem baixa visão e cegueira, baixa audição e surdez, limitações de movimento, dificuldades de aprendizagem, dentre outras [W3C, 2014]. Embora a WCAG tenha sido desenvolvida para aplicativos e conteúdo *Web*, o W3C publicou a versão WCAG 2.0 com recomendações para aplicativos móveis [W3C, 2015].

As diretrizes WCAG são divididas em quatro princípios [W3C, 2014]:

- (i) Perceptível: os componentes da *interface* devem ser projetados para que o usuário possa identificá-los pelos sentidos.
- (ii) Operável: os componentes da *interface* devem ser projetados para que o usuário possa operar com sucesso botões, navegação, controles e outros elementos.
- (iii) Compreensível: as informações e os componentes da *interface* devem ser compreendidos pelo usuário, possibilitando que o mesmo aprenda e lembre-se de como usar a aplicação.
- (iv) Robusto: o conteúdo deve ser projetado para funcionar em todas as tecnologias, permitindo ao usuário escolher como interagir com sites, documentos multimídia, aplicativos, dentre outros.

Para cada um dos princípios há diretrizes e critérios de sucesso que descrevem as práticas recomendadas para deixar o site ou aplicativo em conformidade com as recomendações da WCAG 2.0 W3C [2014]. No total, existem 12 diretrizes e 25 critérios de sucesso que, quando satisfeitos, são, então, identificados como “testados” [Reid and Snow-Weaver, 2008]. Os critérios de sucesso são classificados em 3 níveis (*i.e.*, A, AA e AAA), sendo o nível inicial A o mais importante para melhorar os impactos de acessibilidade nas aplicações [Affonso de Lara et al., 2010].

A avaliação das conformidades é realizada observando o cumprimento das diretrizes e, se não atendidas, o critério de sucesso é violado. É importante observar que o cumprimento das diretrizes das WCAG não é obrigatório, mas proporciona a inclusão digital de usuários com diferentes deficiências. Para a primeira versão do aplicativo MulseBook Audio, os critérios de sucesso foram

adaptados e aplicados no nível A, como parâmetro inicial e comparativo das mudanças realizadas. Nesse sentido, 4 princípios e 25 critérios de sucesso foram utilizados para avaliar o aplicativo para atingir a conformidade WCAG Nível A, descritos na Tabela II.2.

Tabela II.2: Diretrizes e critérios de sucesso para o Nível A da WCAG. Extraído de W3C [2018].

<b>Princípios</b>	<b>Diretrizes</b>	<b>Critérios de sucesso</b>
Perceptível	1.1 Alternativas em texto	1.1.1 Conteúdo não textual
	1.2 Mídias com base em tempo	1.2.1 Apenas áudio e apenas vídeo
		1.2.2 Legendas
	1.3 Adaptável	1.2.3 Audiodescrição ou mídia alternativa
1.3.1 Informações e relações		
1.3.2 Sequência com significado		
1.4 Discernível	1.3.3 Características sensoriais	1.4.1 Utilização de cores
		1.4.2 Controle de áudio
Operável	2.1 Acessível por teclado	2.1.1 Teclado
	2.2 Tempo suficiente	2.1.2 Sem bloqueio do teclado
		2.2.1 Ajustável por temporização
	2.3 Convulsões e reações físicas	2.2.2 Colocar em pausa, parar, ocultar
	2.4 Navegável	2.3.1 Três flashes ou abaixo do limite
2.4.1 Ignorar blocos		
2.4.2 Página com título		
2.4.3 Ordem de foco		
Compreensível	3.1 Legível	2.4.4 Finalidade do link em contexto
		3.1.1 Idioma da página
	3.2 Previsível	3.2.1 Em foco
		3.2.2 Em entrada
3.3 Assistência de entrada	3.3.1 Identificação do erro	
	3.3.2 Rótulos ou instruções	
Robusto	4.1 Compatível	4.1.1 Análise
		4.1.2 Nome, função, valor

### Capítulo III Trabalhos Relacionados

Neste capítulo, são apresentados os trabalhos relacionados à proposta desta dissertação. Esses trabalhos implementam os conceitos da MulSeMedia na área da educação, sobretudo no processo de leitura. Dessa forma, são expostos os estudos preliminares, a construção de protótipos e os experimentos para a condução de leituras multissensoriais e da avaliação da Qualidade de Experiência (QoE) dos usuários. Vale ressaltar que tais trabalhos foram encontrados na base Scopus com a *string* de busca “ $(multisensory \vee blind) \wedge qoe$ ”. Os resultados foram limitados a trabalhos na área da ciência da computação.

Sanchez et al. [2016] apresentaram um protótipo preliminar de narrativas multissensoriais. No trabalho, propõem o uso de efeitos sonoros e táteis como ferramentas literárias e o rastreador ocular para a ativação desses efeitos. O experimento foi conduzido com 15 voluntários, e 4 contos da autora Carla Novi foram utilizados, na seguinte configuração: (i) leitura normal sem os efeitos; (ii) leitura com os efeitos sonoros; (iii) leitura com *feedback* tátil, e; (iv) leitura com os efeitos sonoros e o *feedback* tátil. Ao final da leitura de cada conto, os participantes foram convidados a preencher o questionário de imersão para a identificação dos níveis de empatia, interesse, imaginação, atenção, prazer, frustração, tempo, dificuldade, tédio e desinteresse, seguindo a metodologia proposta por Kunze et al. [2015] e Jennett et al. [2008]. Além disso, outro questionário foi solicitado aos participantes para a avaliação da experiência do usuário, que continha 15 adjetivos respondidos com a polaridade positiva ou negativa. Como resultados preliminares, os autores destacaram que a experiência da leitura multissensorial é memorável e promove ao leitor uma maior imersão no mundo fictício.

Rahman et al. [2011] desenvolveram um *e-book* que apresentava imagens, em uma segunda tela, e produzia os efeitos de vibração durante a leitura do texto. Quando o texto continha um trecho de tempestade no mar, por exemplo, o *e-book* iniciava o efeito de vibração em uma jaqueta e em um sofá, além de exibir uma imagem do mar na segunda tela. Para a sincronização dos efeitos e das imagens, os autores desenvolveram uma aplicação para anotar manualmente os efeitos utilizando o padrão *Extensible Markup Language* (XML). O experimento contou com a participação de 14 voluntários, sendo realizado em um ambiente controlado dentro do laboratório da Universidade de Ottawa, no Canadá. Os voluntários, após usarem o *e-book*, eram convidados a responder 3 questões de múltipla escolha que tinham como objetivo analisar a relação entre o processo de memorização, os

efeitos vibratórios e as imagens. Embora os experimentos indicassem uma melhora na QoE quando a leitura era realizada com os efeitos de vibração e a apresentação da imagem, não foi possível indicar a importância desse efeito no processo de memorização, sugerindo novos experimentos e melhorias no protótipo. Uma extensão desse trabalho foi proposta em Alam et al. [2013], em que os autores adicionaram alguns componentes ao protótipo, como uma pulseira vibratória, um sistema de áudio e uma TV. O novo experimento teve a participação de 20 voluntários entre 12 e 18 anos, de diferentes formações acadêmicas. Os resultados dos experimentos indicaram uma melhora no processo de aprendizagem com a utilização dos efeitos em relação aos *e-books* tradicionais.

Guedes [2018] propôs o desenvolvimento de um aplicativo que implementa efeitos multissensoriais durante a leitura de *e-books*. O aplicativo intitulado *Multisensorial Books* foi configurado para apresentar o poema *The Wind, One Brilliant Day*, de Antonio Machado, e os controles dos efeitos foram construídos utilizando uma placa *Raspberry Pi 3*. Os efeitos implementados nesse trabalho foram o auditivo, o olfativo e a percepção háptica: o som do vento soprando pelas árvores, emitido pelo dispositivo iHome, representou o efeito auditivo; um ventilador para propagar um perfume no ar, um gel perfumado de jasmim utilizado pelo autor e um gabinete para adaptar o gel, representou o efeito olfativo; o uso de um segundo ventilador para gerar um fluxo de ar proporcionou o efeito háptico. O aplicativo foi integrado à placa de controle dos efeitos e apresentou resultados promissores nos testes realizados com o protótipo, a placa de controle e os efeitos. Esse trabalho foi o primeiro a sugerir a implementação dos efeitos MulSeMedia na leitura de textos em *e-books*.

Vieira et al. [2018] avaliaram a influência dos efeitos MulSeMedia durante o processo de leitura. Nesse trabalho, os autores desenvolveram uma *interface* utilizando *HyperText Markup Language* (HTML) e integrando uma placa *Raspberry Pi 3* para o controle dos efeitos, como o áudio, o vento e a iluminação ambiente (*i.e.*, mudanças de cores). O texto utilizado no experimento foi inspirado em uma história medieval e possuía notações manuais para que os efeitos fossem acionados durante a leitura em um espaço de tempo predeterminado pelos autores, de forma empírica. Os experimentos foram realizados com 14 voluntários divididos em 2 grupos: no primeiro, os participantes leram a história medieval com os efeitos MulSeMedia, enquanto, no segundo, os participantes leram a mesma história sem os efeitos. Ao final de cada experimento, os participantes responderam um questionário com a finalidade de avaliar a percepção e a influência dos efeitos em relação à história lida. Os resultados indicaram que a experiência de leitura do primeiro grupo foi mais intensa com os efeitos multissensoriais quando comparado com o grupo que leu a história sem os efeitos.

Mon et al. [2019] analisaram os requisitos para aplicativos de entretenimento educativo voltados para alunos com deficiência visual. Os autores destacaram que o ensino do formato de objetos para os deficientes visuais, em geral, são realizados com ferramentas táteis, como plásticos, formas de madeira, papel ou papelão. Os autores analisaram se os recursos sensoriais, como o olfativo, o tato

e a audição poderiam aprimorar o uso dos aplicativos de entretenimento educativo. O grupo-alvo da pesquisa eram crianças com deficiência visual entre 9 e 14 anos, entretanto, devido a esse grupo não estar disponível gratuitamente aos pesquisadores, um estudo preliminar foi realizado com a participação de 9 voluntários (7 do sexo masculino e 2 do sexo feminino), todos com idade de 25 anos e deficiência visual. Os voluntários foram convidados a tocar e a sentir 4 tipos diferentes de frutas (*i.e.*, maçã, limão, laranja e banana) em um ambiente sonorizado. Em seguida, foram solicitados a identificar as frutas e a responder um questionário de familiaridade com os aplicativos de entretenimento educativo. Por meio da observação e das entrevistas com os voluntários, os autores concluíram que os objetos eram identificados primeiramente pela forma da fruta e, posteriormente, pela textura. Caso as frutas fossem semelhantes, os voluntários identificariam o objeto por meio de seus respectivos aromas. Por fim, como resultado desse estudo, todos os voluntários concordaram que o aplicativo de entretenimento educativo, quando implementado com recursos sensoriais de olfato, tato e audição, pode enriquecer o aprendizado de alunos com deficiência visual.

Okuno et al. [2020] conceituaram o modelo dos Audiolivros Multissensoriais. O modelo implementou os efeitos MulSeMedia no decorrer da leitura de histórias no formato de audiolivros e foi concebido, sobretudo, para usuários com baixa visão ou cegos. O modelo é composto por: (i) aplicativo para *smartphone* intitulado MulseBook Audio 1.0; (ii) plataforma de controle MulSeMedia para a execução dos efeitos; e (iii) equipamentos que geram os efeitos multissensoriais (*e.g.*, ventilador de mesa, difusor de aromas). Para a realização dos experimentos preliminares, os autores utilizaram a primeira história para audiolivros multissensoriais intitulada “Cida e Adão em uma experiência multissensorial”, além de executarem testes de integração e funcionalidade de todo o modelo. Os resultados iniciais foram promissores e indicaram a viabilidade do modelo como extensão dos audiolivros tradicionais e a possibilidade de beneficiar usuários com deficiência visual e pessoas com dislexia.

Silva et al. [2021] buscaram responder a hipótese de que os conteúdos multissensoriais, ao serem sincronizados com a leitura, poderiam auxiliar as crianças com dislexia na compreensão e na memorização do conteúdo que está sendo lido. Para isso, desenvolveram um aplicativo intitulado MBook, o qual armazena e apresenta os livros multissensoriais. O MBook utiliza um rastreador ocular para identificar, em tempo real, a palavra que está sendo lida pela criança, assim, verifica-se se aquela palavra ou sequência de palavras possuem conteúdos multissensoriais associados e, caso positivo, iniciam-se os efeitos, como vento, cheiro, sons e luzes. Os conteúdos multissensoriais são configurados previamente em um arquivo XML estruturado em um formato de árvore com cada elemento conectado ao pai. O elemento `<anchor>`, por exemplo, marca a palavra ou o conjunto de palavras de interesse - a âncora tem um identificador para indicar áreas do texto nos quais as mídias multissensoriais são iniciadas. Os experimentos foram conduzidos com 2 voluntários que

tinham idades entre 9 e 10 anos, ambos do sexo feminino. Após a leitura da história “E.T - O extraterrestre”, os voluntários foram convidados a responder dois questionários: (i) avaliação da motivação pela leitura, baseado na escala de motivação escolar infanto-juvenil e com 12 questões; e (ii) avaliação de compreensão do texto, contendo 5 questões. Os resultados preliminares apontam que o uso das mídias multissensoriais durante a leitura colaboram na compreensão do texto e aumentam a velocidade e a motivação da leitura de crianças com dislexia.

Neste capítulo apresentamos os trabalhos relacionados à análise e ao desenvolvimento de protótipos e aplicativos que implementam recursos multissensoriais nos campos da leitura e da educação, com o objetivo de aprimorar a QoE dos usuários. Vale destacar que, diferente dos trabalhos apresentados nesta seção, a presente dissertação se concentra na adoção do modelo dos audiolivros multissensoriais e objetiva o desenvolvimento da versão 3.0 do aplicativo MulseBook Audio com total compatibilidade com o *TalkBack*, além da conformidade com as Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web, em inglês, Web Content Accessibility Guidelines (WCAG). Por fim, este trabalho também realiza experimentos com usuários com deficiência visual para validar o modelo adotado e avaliar a QoE desses usuários ao utilizarem os audiolivros multissensoriais.

## Capítulo IV Audiolivros Multissensoriais

No presente capítulo, apresentamos a linha do tempo do desenvolvimento do modelo dos audiolivros multissensoriais, detalhamos a motivação para o desenvolvimento do modelo e, em seguida, apresentamos a integração do aplicativo com a plataforma de controle MulSeMedia e com os efeitos multissensoriais. Dessa forma, as seções a seguir são organizadas da seguinte maneira: na Seção IV.1 descrevemos a linha do tempo do desenvolvimento do modelo dos audiolivros multissensoriais. Na Seção IV.2 apresentamos o modelo dos audiolivros multissensoriais. Na Seção IV.3 especificamos o diagrama de conexão e o funcionamento da plataforma de controle MulSeMedia. Na Seção IV.4 descrevemos a sincronização dos efeitos multissensoriais durante o processo de leitura. Na Seção IV.5 apresentamos a ferramenta de autoria para audiolivros multissensoriais. Por fim, abordamos na Seção IV.6 as primeiras versões do aplicativo MulseBook Audio e detalhamos os principais aprimoramentos implementados na versão 3.0.

### IV.1 Linha do tempo do desenvolvimento dos Audiolivros Multissensoriais

A Figura IV.1 apresenta a linha do tempo do desenvolvimento dos audiolivros multissensoriais. Inicialmente, realizamos a revisão da literatura sobre os audiolivros tradicionais (A) e propusemos a criação do modelo dos audiolivros multissensoriais. Como produto deste modelo, desenvolvemos um protótipo (B) composto pelo aplicativo intitulado MulseBook Audio 1.0, a plataforma de controle dos efeitos multissensoriais e os equipamentos que reproduzem os efeitos (*e.g.*, ventilador, difusor de aromas, caixa de som). Os testes de integração (C1), de funcionalidade (C2) e de avaliação do aplicativo MulseBook Audio 1.0 (C3) apresentaram resultados promissores e indicaram a viabilidade do modelo como extensão dos audiolivros tradicionais e a possibilidade de beneficiar os usuários com deficiência visual e, ao mesmo tempo, pessoas com dislexia.

Em busca de melhorias no modelo dos audiolivros multissensoriais, identificamos no aplicativo MulseBook Audio 1.0 a necessidade da implementação de requisitos de acessibilidade e do design centrado no usuário. Dessa forma, desenvolvemos o protótipo do aplicativo (D) intitulado MulseBook Audio 2.0 com base nas Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web (WCAG), realizamos novos testes de integração (E1) com a plataforma de controle e de funcionalidade (E2) com os efeitos multissensoriais e avaliamos (E3) a nova interface do aplicativo. Os resultados dos testes

e da avaliação apontaram melhorias no design do aplicativo. Entretanto, destacamos a necessidade da realização de experimentos com usuários com deficiência visual, além da compatibilidade do MulseBook Audio 2.0 com o leitor de tela *TalkBack*, do *Android*.

Considerando estes aspectos, este trabalho teve como objetivo a validação do modelo dos audiolivros multissensoriais. Para isso, desenvolvemos a versão do aplicativo MulseBook Audio 3.0 (F) com total integração e funcionalidades, além da plena compatibilidade com o leitor de tela *TalkBack*. Ainda, realizamos experimentos (G2) e entrevistas (G1) com usuários com deficiência visual, a fim de avaliar a QoE desses usuários ao utilizarem os audiolivros multissensoriais. Os resultados obtidos nas entrevistas e experimentos serão publicados posteriormente (H) e possíveis melhorias serão implementadas no sistema final (I).

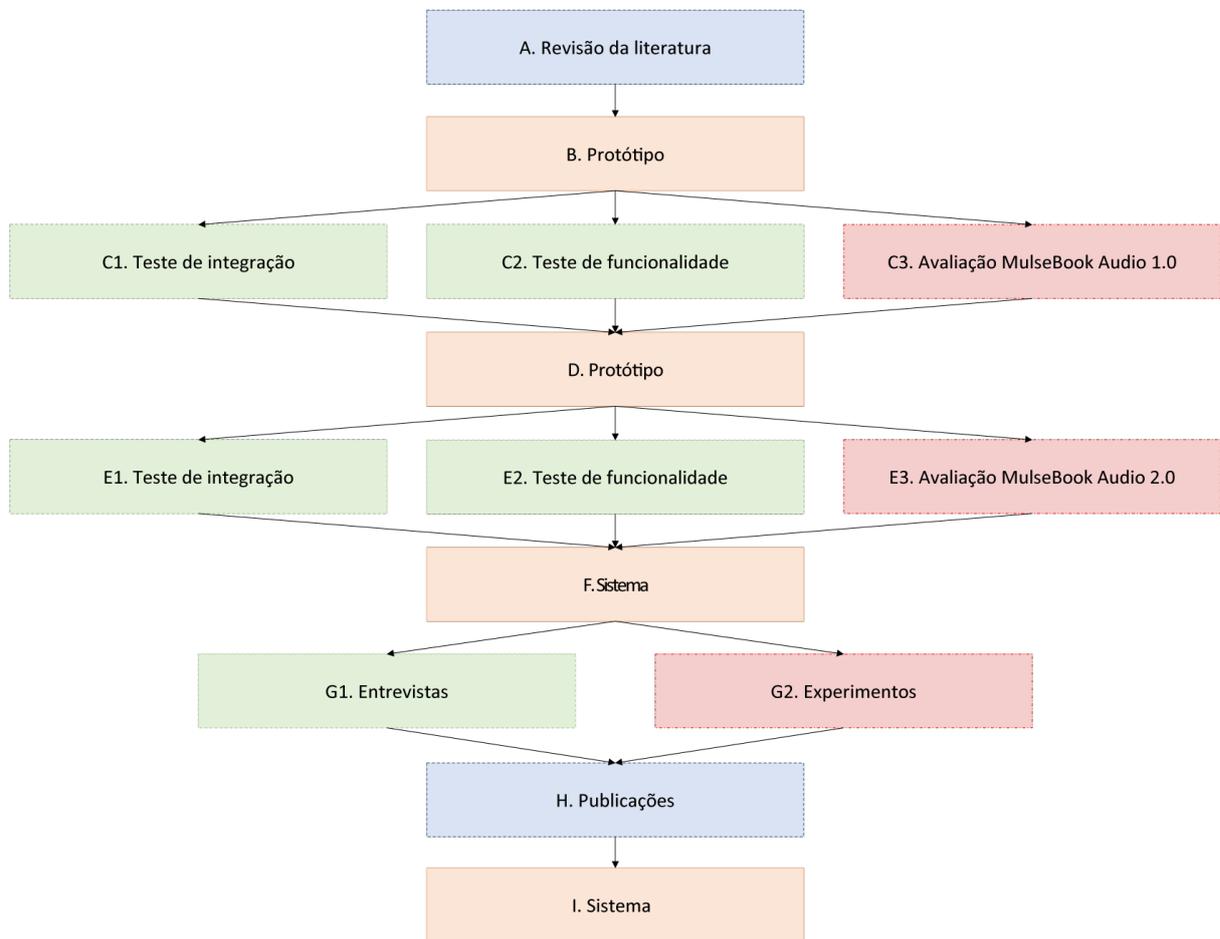


Figura IV.1: Linha do tempo do desenvolvimento do modelo dos audiolivros multissensoriais.

## IV.2 Modelo dos Audiolivros Multissensoriais

Propusemos o modelo dos audiolivros multissensoriais como uma extensão dos audiolivros tradicionais e considera a acessibilidade, em que pode beneficiar os usuários com baixa visão ou cegos e, ao mesmo tempo, os usuários com dislexia. Esse modelo usa elementos de mídia multissensoriais

(MulSeMedia) para aprimorar a Qualidade de Experiência (QoE) dos ouvintes. A Figura IV.2 ilustra o modelo dos audiolivros multissensoriais. O usuário, por meio de um dispositivo (e.g., tablet, celular), ao utilizar o aplicativo intitulado MulseBook Audio, ouve uma história multissensorial. O dispositivo, via rede *wireless*, conecta-se à plataforma de controle MulSeMedia que aciona os efeitos relacionados à história. Os efeitos podem ser visuais, auditivos, táteis, gustativos ou olfativos.

O modelo dos audiolivros multissensoriais foi inspirado no modelo dos livros multissensoriais, proposto por Guedes [2018]. Nesse cenário, ambos modelos adotam o padrão de anotação dos efeitos multissensoriais em um arquivo no formato XML, conforme *schema XML* apresentado no Apêndice D. Entretanto, vale ressaltar que o modelo dos audiolivros multissensoriais utiliza histórias em formato de áudio, assim, as anotações descritas no arquivo XML são vinculadas aos efeitos multissensoriais em decorrência do tempo, diferente do modelo dos livros multissensoriais ou do padrão proposto por Silva et al. [2021], em que são marcadas palavras de interesse vinculadas às mídias multissensoriais que são ativadas por um rastreador ocular, por exemplo. Dessa forma, o modelo dos audiolivros multissensoriais se diferencia, pois foi concebido para acessibilidade e a inclusão de pessoas com deficiência visual.

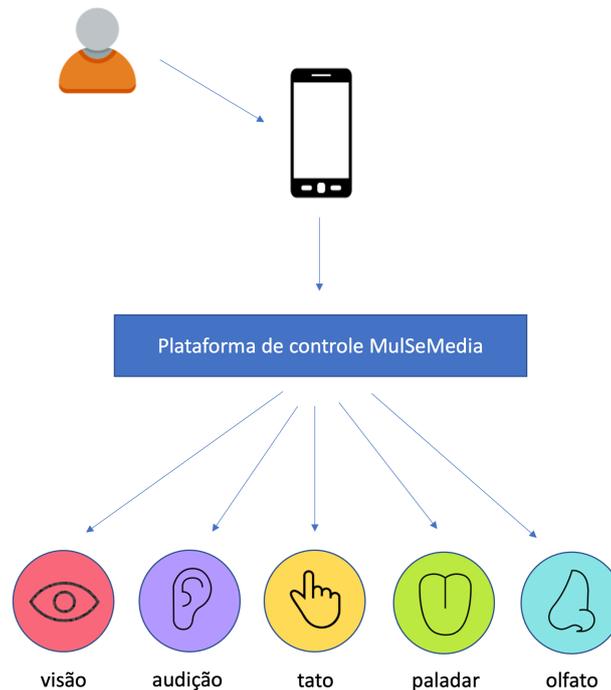


Figura IV.2: Modelo dos Audiolivros Multissensoriais.

### IV.3 Plataforma de controle Multimídia Multissensorial (MulSeMedia)

A comunicação entre a plataforma de controle MulSeMedia e o aplicativo MulseBook Audio ocorre por uma rede *wireless* e, no momento da reprodução do audiolivro, o aplicativo realiza a

leitura do arquivo XML. O conteúdo do arquivo XML descreve as informações de sincronização dos efeitos com o audiolivro que, durante a leitura, serializa as anotações dos efeitos para enviar à plataforma de controle. Nesse momento, a plataforma de controle recebe as anotações e realiza as operações conforme o arquivo XML configurado.

Construímos a plataforma de controle MulSeMedia com os componentes a seguir: uma placa Raspberry Pi 3, um par de caixas de som conectada à placa via cabo, um ventilador de mesa e um difusor de aromas. Para a operação desses dois últimos equipamentos, conectamos à placa Raspberry um módulo relé para o acionamento do ventilador e um emissor, bem como um receptor infravermelho para o controle do difusor de aromas. Além disso, adicionamos também um roteador *wireless* ao projeto para permitir a comunicação sem fio do aplicativo MulseBook Audio com a plataforma de controle. A Figura IV.3 apresenta o diagrama de comunicação entre os dispositivos com a plataforma de controle e a Figura IV.4 ilustra o usuário utilizando o aplicativo no *smartphone* com os dispositivos que reproduzem os efeitos multissensoriais.

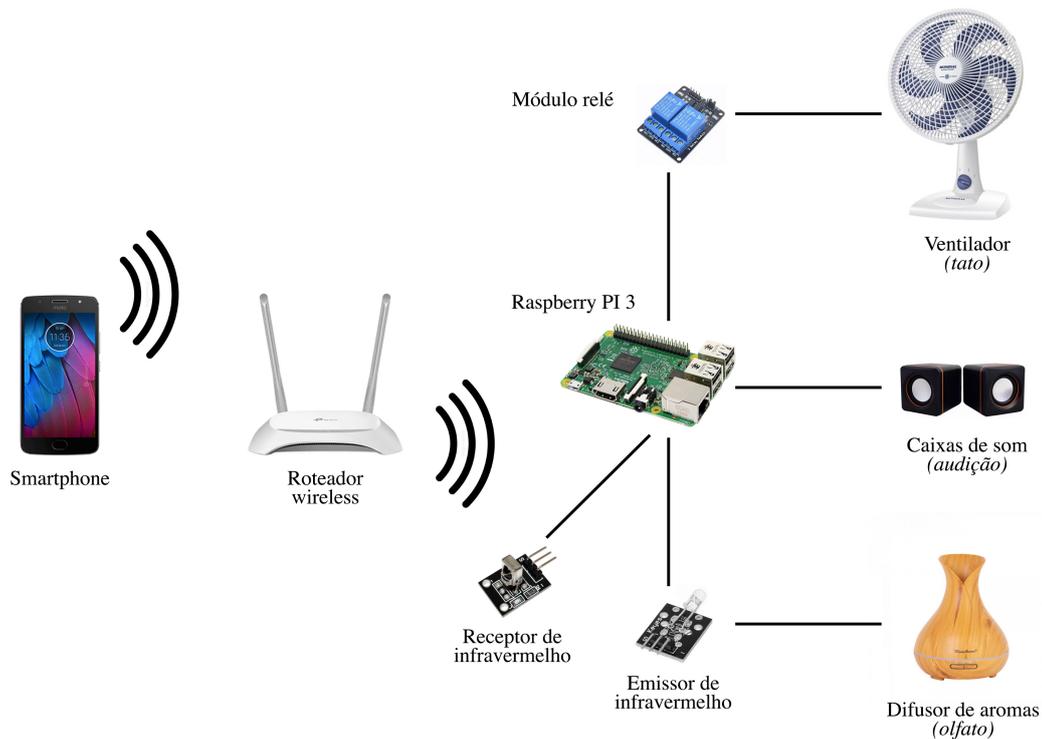


Figura IV.3: Diagrama de conexão entre os dispositivos e equipamentos com a placa de controle Raspberry Pi 3.

Realizamos a integração do Raspberry Pi 3 com o emissor de infravermelho por meio da configuração do pacote Linux Infrared Remote Control (LIRC). O LIRC permite a codificação e o envio do sinal infravermelho a ser transmitido pelo emissor. Após a configuração, testamos a leitura do sinal de infravermelho emitida pelo controle remoto do difusor de aromas, que acompanha o equipamento. Esse passo foi realizado para permitir que o Raspberry Pi 3 emita o mesmo sinal



Figura IV.4: Usuário utilizando o aplicativo MulseBook Audio e os dispositivos que reproduzem os efeitos multissensoriais. Na imagem, destacam-se o ventilador, a caixa de som e o difusor de aromas.

do controle remoto do difusor de aromas para ativar e desativar os efeitos, conforme as anotações realizadas no arquivo XML. A Figura IV.5 apresenta o diagrama das conexões realizadas entre o Raspberry Pi 3, o relé e o emissor e receptor de infravermelho.

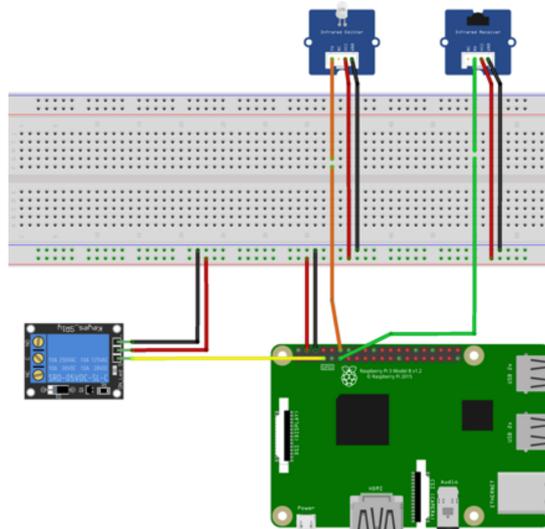


Figura IV.5: Diagrama de conexão entre a placa de controle Raspberry Pi 3 com o relé, emissor e receptor de infravermelho.

Para que a plataforma de controle realize as ativações dos efeitos, desenvolvemos o controlador *server-side* na linguagem Python. O controlador é executado na placa Raspberry Pi 3 que habilita a escuta para o recebimento dos comandos enviados pelo aplicativo MulseBook Audio, via *TCP/IP Socket*. Para os experimentos preliminares, utilizamos a porta 5005 com o objetivo desta ser a receptora dos comandos de ativação e desativação dos efeitos multissensoriais. No Apêndice C,

incluímos o código-fonte do controlador *server-side* desenvolvido.

#### IV.4 Sincronismo dos efeitos multissensoriais

Para que os efeitos multissensoriais ocorram durante o processo de leitura dos audiolivros, a sincronização dos efeitos deve ser realizada com a narração da história. Durante o processo de sincronização, é possível definir o tempo inicial e final do estímulo sensorial e o estado do efeito (*i.e.*, ligar, desligar) [Okuno and Guedes, 2020]. Dessa forma, para cada história multissensorial a ser produzida, um arquivo (*i.e.*, em XML) deve ser criado com as anotações dos efeitos sincronizando mídias tradicionais aos sentidos humanos. A Figura IV.6 apresenta um exemplo da estrutura de XML do audiolivro “Cida e Adão em uma experiência multissensorial” contendo as tags de configuração do agendamento dos efeitos multissensoriais.

```

<AudioBook>
  <Signal>
    <Device>diffuser</Device>
    <State>on</State>
    <Source></Source>
    <Time>00:01:16</Time>
  </Signal>
  <Signal>
    <Device>diffuser</Device>
    <State>off</State>
    <Source></Source>
    <Time>00:01:23</Time>
  </Signal>
  <Signal>
    <Device>speaker</Device>
    <State>on</State>
    <Source>birds.mp3</Source>
    <Time>00:01:24</Time>
  </Signal>
  <Signal>
    <Device>speaker</Device>
    <State>off</State>
    <Source>birds.mp3</Source>
    <Time>00:01:31</Time>
  </Signal>
  <Signal>
    <Device>fan</Device>
    <State>on</State>
    <Source></Source>
    <Time>00:03:17</Time>
  </Signal>
  <Signal>
    <Device>fan</Device>
    <State>off</State>
    <Source></Source>
    <Time>00:03:21</Time>
  </Signal>
</AudioBook>

```

Figura IV.6: Trecho do arquivo XML anotado do audiolivro “Cida e Adão em uma experiência multissensorial”.

Após realizar as anotações no arquivo XML, o mesmo deve ser inserido no aplicativo MulSeBook Audio, que funciona como um agendamento dos efeitos. Ao iniciar a reprodução do audiolivro vinculado ao arquivo anotado, o aplicativo realiza a leitura do arquivo XML e envia à plataforma de controle MulSeMedia os comandos de iniciar e parar cada efeito, conforme os agendamentos programados no XML. Dessa forma, o audiolivro é sincronizado com os efeitos multissensoriais.

A estrutura do arquivo XML apresentada na Figura IV.6 possui as *tags* <Device>, <State>, <Source> e <Time>. Pode-se notar que cada anotação de efeito multissensorial gera uma estrutura de *tags* no arquivo XML. A *tag* <Device> identifica o sinal gerado a partir de um dispositivo; a *tag* <State>, o estado ligado ou desligado (*on/off*); a *tag* <Source>, o nome do arquivo em áudio que deve ser iniciado; e a *tag* <Time>, o momento que deve ser iniciado ou interrompido o efeito. Um exemplo é a anotação do efeito *speaker* que reproduzirá nas caixas de som o arquivo birds.mp3 em 00:01:24 e será finalizado em 00:01:31.

A autoria manual de arquivos XML se mostra um desafio, pois, além de ser uma tarefa custosa e que demanda tempo, muitas vezes pode gerar erros [Abreu et al., 2019]. Existem ferramentas de autoria desenvolvidas visando a sincronização dos efeitos multissensoriais com vídeos que se mostram mais eficientes do que o processo de autoria manual [Kim, 2013]. Entretanto, não foram encontrados na literatura trabalhos que apresentem ferramentas de autoria para audiolivros multissensoriais. Nesse sentido, apresentamos na Seção IV.5 a ferramenta Multisensorial Audiobooks Authoring Tool (MAAT) para a autoria dos audiolivros multissensoriais.

## IV.5 Ferramenta de autoria para audiolivros multissensoriais

Ferramentas de autoria possuem *interfaces* gráficas intuitivas que permitem aos usuários abstrair as dificuldades da escrita de arquivos com as anotações [de Amorim et al., 2019]. Como mencionado em seções anteriores, a escrita manual dos arquivos de anotação em XML, por exemplo, é uma tarefa custosa, que demanda tempo e, muitas vezes, pode gerar erros. Nesse sentido, apresentamos nesta seção a criação de uma ferramenta de autoria para audiolivros multissensoriais intitulada Multisensorial Audiobooks Authoring Tool (MAAT).

MAAT é uma ferramenta de autoria para audiolivros multissensoriais que possibilita a criação, edição e personalização de anotações dos efeitos, permitindo a configuração do momento em que estes efeitos devem ocorrer durante a leitura do audiolivro. Também, MAAT possui uma *interface* gráfica intuitiva e amigável para facilitar a utilização por usuários sem conhecimento prévio. Ao final da autoria, a ferramenta MAAT exporta o conteúdo das anotações em uma estrutura de arquivo XML.

Projetamos a ferramenta MAAT com base no editor e *player* de áudio *waveform-playlist*<sup>1</sup>. Esse

<sup>1</sup><https://github.com/naomiario/waveform-playlist>

editor foi desenvolvido em HTML5, JavaScript e CSS e permite a edição do áudio em meio à interação das trilhas com as ondas sonoras. Ao longo do desenvolvimento da ferramenta MAAT, novos recursos foram adicionados à ferramenta base, tais como:

- o upload do audiolivro em formato MP3.
- o acréscimo de novas anotações de efeitos.
- a sincronização dos efeitos multissensoriais com o áudio enviado para a ferramenta.
- o download do arquivo no formato XML, contendo as anotações descritas para uso nos audiolivros multissensoriais.

A Figura IV.7 apresenta a *interface* gráfica da ferramenta MAAT. A *interface* é organizada em três áreas: (i) os comandos de pausar, reproduzir, parar, retroceder ou avançar o áudio, ampliar e reduzir as ondas sonoras e o botão para realizar o *download* do arquivo XML anotado; (ii) a visão temporal e as ondas sonoras do audiolivro, e; (iii) as anotações dos efeitos multissensoriais com os comandos de ajustes finos. Os comandos de ajustes finos (da esquerda para a direita) auxiliam o usuário a diminuir ou aumentar 10 milissegundos ao final da anotação, aperfeiçoando o tempo de duração do efeito, além de adicionar ou excluir uma anotação que tenha sido configurada anteriormente. Por exemplo, para que o efeito de vento termine antes de iniciar o difusor de aromas, pode-se diminuir 10 a 20 milissegundos do efeito de vento.

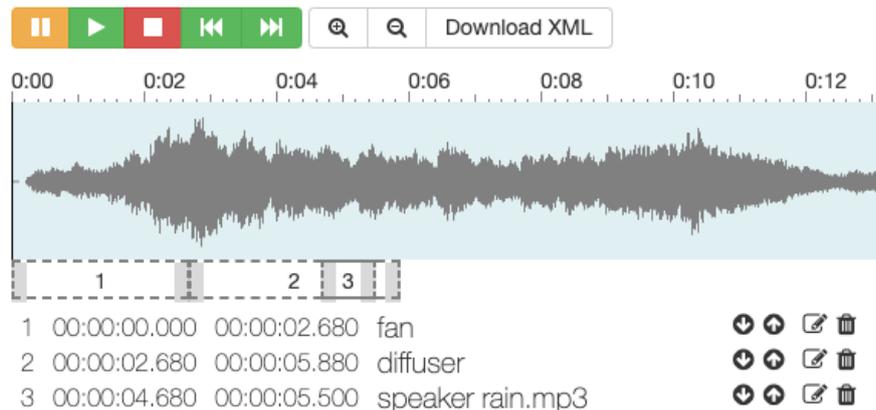


Figura IV.7: Interface da ferramenta MAAT: sincronização dos efeitos multissensoriais com o áudio do livro narrado. Adaptado de Okuno and Guedes [2020].

Para que o usuário crie as anotações, após o *upload* do arquivo MP3, deve selecionar e especificar o intervalo de tempo do efeito, escolher um dos efeitos a serem reproduzidos e, se for um efeito sonoro, especificar o nome do arquivo. Ao adicionar uma nova anotação, o processo anterior deve ser repetido até finalizar todas as anotações. É importante destacar que a MAAT permite ao usuário acompanhar graficamente as anotações enquanto reproduz o audiolivro pela ferramenta, propiciando ajustes finos antes da geração final do arquivo XML. Ao concluir o processo, o usuário

deve clicar no botão Download XML para gerar e descarregar o arquivo XML anotado pela ferramenta MAAT e enviar posteriormente para o aplicativo MulseBook Audio.

Para a realização da avaliação da ferramenta MAAT, anotamos a história “Cida e Adão numa leitura multissensorial” por meio da ferramenta. O arquivo XML foi gerado e incorporado ao aplicativo MulseBook Audio, em que foram avaliados a compatibilidade do arquivo gerado e a sincronização dos efeitos multissensoriais. Ao iniciar o aplicativo MulseBook Audio, o arquivo XML foi carregado corretamente, sendo possível reproduzir o audiolivro no *smartphone*, apresentando, assim, compatibilidade do arquivo XML com o aplicativo. Em seguida, avaliamos a reprodução dos efeitos multissensoriais em sincronismo com as anotações descritas na ferramenta MAAT. Durante a reprodução do audiolivro, os efeitos foram habilitados e desabilitados conforme as anotações realizadas anteriormente, indicando a precisão da sincronização dos efeitos multissensoriais. Apesar de não terem sido realizadas outras avaliações, como o da usabilidade da ferramenta, os resultados apresentados foram promissores.

#### IV.6 Aplicativo MulseBook Audio

O *MulseBook Audio* é o primeiro aplicativo desenvolvido para a leitura dos audiolivros multissensoriais. Este aplicativo permite aos usuários com baixa visão ou cegos ouvir um audiolivro enquanto os efeitos multissensoriais são reproduzidos. Desenvolvemos a primeira versão do aplicativo para *smartphones* utilizando a plataforma Unity e a linguagem de programação CSharp, da Microsoft. A Figura IV.8 ilustra a primeira versão do MulseBook Audio, contendo a tela inicial, a tela em que o usuário pode escolher o audiolivro a ser reproduzido e a tela de reprodução da história.

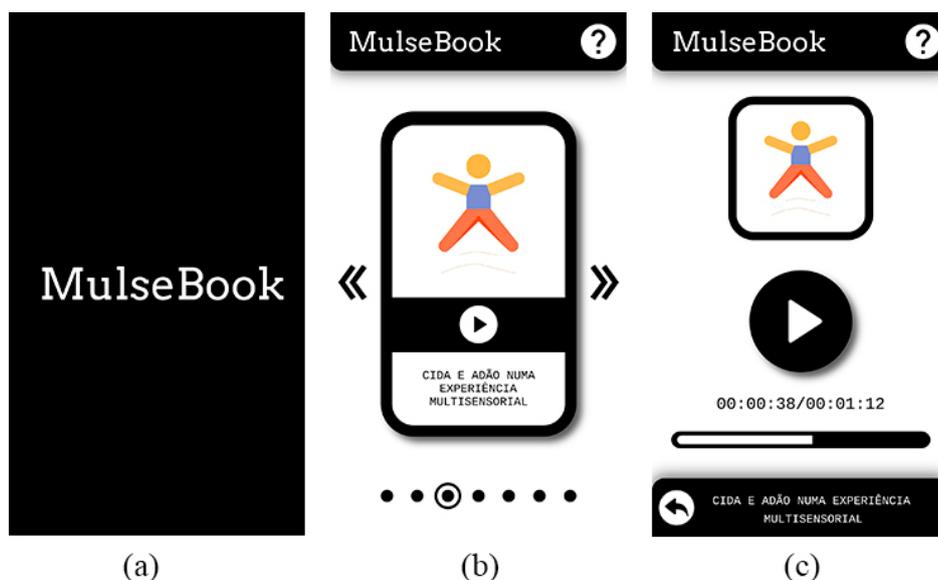


Figura IV.8: Primeira versão do MulseBook Audio: (a) tela inicial; (b) tela para escolha do audiolivro; e (c) tela para reprodução do audiolivro. Adaptado de Okuno et al. [2020]

Para os testes de integração e de funcionalidade da versão 1.0 do MulseBook Audio, foi escrita a primeira história para audiolivros multissensoriais, intitulada “Cida e Adão em uma experiência multissensorial”, ao qual apresentamos no Apêndice B. Essa história, concebida pelo Doutor em Educação, Silvano Netto, faz parte do Projeto “Cida e Adão” (*Cidadão*) em parceria com a OSCIP Brasil Forte. Essa parceria visa desenvolver a cidadania e identificar o potencial das pessoas com dislexia e deficiência visual com base na Teoria das Inteligências Múltiplas, do pesquisador da Universidade de Harvard, Dr. Howard Gardner, com quem a OSCIP Brasil Forte mantém contato.

Embora a primeira versão do aplicativo MulseBook Audio apresente resultados promissores e o modelo dos audiolivros multissensoriais tenha sido concebido para pessoas com deficiência visual, o aplicativo não implementou recursos de acessibilidade ou de design centrado no usuário. Dessa forma, apresentamos estudos de interface e de diretrizes para viabilizar esses requisitos, resultando no desenvolvimento do protótipo do MulseBook Audio 2.0.

#### IV.6.1 MulseBook Audio 2.0

Para o desenvolvimento da versão MulseBook Audio 2.0, realizamos o mapeamento do aplicativo para validar os requisitos mínimos (Nível A) das diretrizes WCAG. A Tabela IV.1 apresenta o Nível A de critérios e diretrizes de sucesso, destacando o que está faltando no *design* do aplicativo. Vale ressaltar que alguns critérios de sucesso não foram elegíveis para a avaliação do MulseBook Audio 2.0, como a funcionalidade por teclado, uma vez que o aplicativo não necessita de entrada de dados.

A versão 2.0 do MulseBook Audio sofreu alterações nas cores e nas posições dos botões, além de ter recebido novos botões de preferências de inicialização e atalhos de informações. Essas alterações foram necessárias para a aplicação dos conceitos de design centrado no usuário. A Figura IV.9 apresenta a *interface* do aplicativo MulseBook Audio 2.0. Todos os botões (*e.g.*, para iniciar o aplicativo ou ouvir um determinado audiolivro) possuem um texto. Essa implementação foi realizada para permitir, posteriormente, que o sistema de leitura de telas *TalkBack* pronuncie a funcionalidade de cada botão. Na tela (b) da escolha do audiolivro, diferente da primeira versão do MulseBook Audio, o usuário escolhe o audiolivro em uma lista deslizável para cima e para baixo diminuindo o número de telas que o usuário precisaria percorrer para a escolha do audiolivro. A tela (c) de reprodução do audiolivro recebeu melhorias de controle e personalização, tais como:

- (i) Barra de progresso que permite o avanço da história do audiolivro.
- (ii) Personalização das preferências do usuário quanto à reprodução automática do audiolivro ou apenas quando o botão *play* for pressionado.
- (iii) Personalização das preferências do usuário quanto à reprodução das animações: habilitar ou desabilitar a barra de progresso.

Tabela IV.1: Inconformidades identificadas no aplicativo MulseBook Audio 1.0 conforme as diretrizes WCAG.

Princípios	Diretrizes	Tópicos violados
Perceptível	1.1 Alternativas em texto	1.1.1 Botões sem rótulos no código-fonte
	1.2 Mídias com base em tempo	1.2.1 Sem mídia alternativa 1.2.2 Sem opção para legendas 1.2.3 Sem descrição do áudio
	1.3 Adaptável	1.3.1 Sem informação no texto 1.3.2 Exigir alterações nas sequências de páginas 1.3.3 Existe um padrão por forma, localização e cor
	1.4 Discernível	1.4.1 Os botões são diferenciados por cor e texto 1.4.2 Sem controle de áudio (apenas iniciar ou parar)
Operável	2.1 Acessível por teclado	2.1.1 Sem funcionalidade de teclado 2.1.2 Sem funcionalidade de teclado
	2.2 Tempo suficiente	2.2.1 Sem funcionalidade de temporização 2.2.2 Sem controle (apenas barra de progresso)
	2.3 Convulsões e reações físicas	2.3.1 De acordo
	2.4 Navegável	2.4.1 Sem bloqueios de desvio 2.4.2 Título da página não reconhecido pelo leitor de tela 2.4.3 Apenas por uma sequência específica 2.4.4 Não aplicável
Compreensível	3.1 Legível	3.1.1 Somente em português
	3.2 Previsível	3.2.1 Sem função de foco 3.2.2 Sem função de entrada
	3.3 Assistência de entrada	3.3.1 Sem identificação de erro 3.3.2 Sem rótulos ou instruções
Robusto	4.1 Compatível	4.1.1 Nenhum elemento com atributos duplicados
		4.1.2 Nenhum nome reconhecido

É importante destacar que as implementações desenvolvidas para a versão do MulseBook Audio 2.0, além de estarem em conformidade com as diretrizes WCAG, proporcionam maior conforto aos usuários. O usuário, por meio da personalização das preferências, pode obter novas experiências ao ter suas necessidades atendidas pelo aplicativo. Assim, o desenvolvimento do MulseBook Audio 2.0 serviu como um estudo da aplicação das diretrizes WCAG visando a acessibilidade e o design centrado no usuário. Como próximos passos desse estudo, apresentamos, na seção seguinte, a implementação da compatibilidade com o *TalkBack* e, no Capítulo V, a realização de experimentos com usuários com deficiência visual.

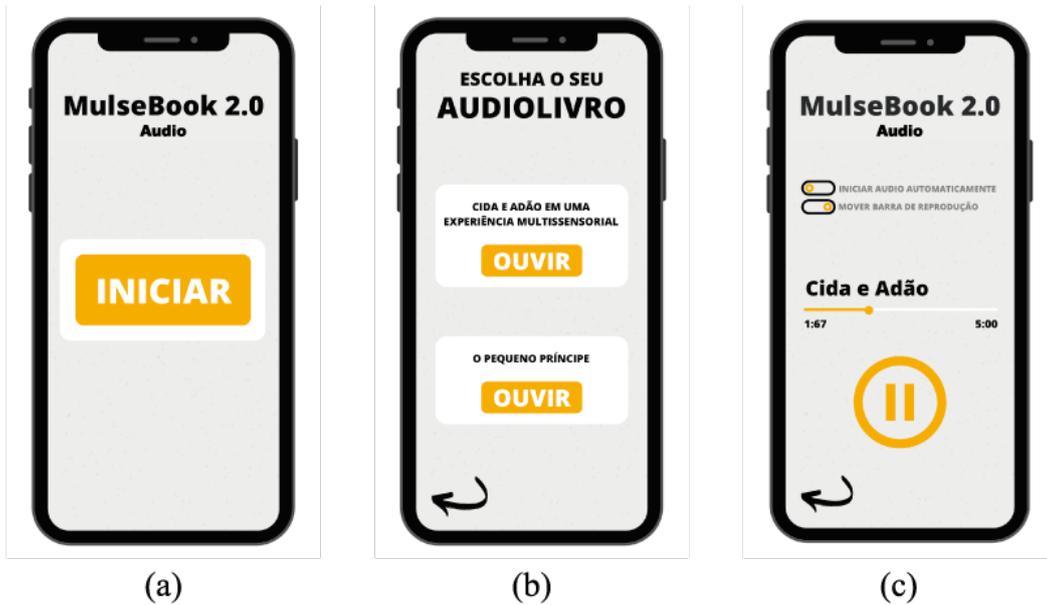


Figura IV.9: MulseBook Audio 2.0: (a) tela inicial; (b) tela para escolha do audiolivro por rolagem vertical; e (c) tela para reprodução do audiolivro com opções de personalização de preferência do usuário.

#### IV.6.2 MulseBook Audio 3.0

Ao propor melhorias na última versão do aplicativo MulseBook Audio, desenvolvemos no presente trabalho a versão 3.0 desse aplicativo para compatibilizar o leitor de telas *TalkBack*. É importante ressaltar que a funcionalidade do *TalkBack* é fundamental para usuários com deficiência visual, pois permite a identificação e a localização dos botões dentro de um aplicativo, a narração de textos apresentados em aplicativos de mensagens, dentre outros. Para isso, desenvolvemos o MulseBook Audio 3.0 no *Android Studio*, utilizando a linguagem de programação *Java*, assim, permitindo que o *TalkBack* reconheça os textos e objetos da nova interface e realize a leitura para usuários com deficiência visual.

A Figura IV.10 apresenta a interface do novo aplicativo MulseBook Audio 3.0. Realizamos na nova versão a validação com relação às Diretrizes WCAG, a fim de garantir a conformidade com os padrões de acessibilidade. Além disso, submetemos essa versão a testes técnicos com o Scanner de Acessibilidade<sup>2</sup>, do *Google*, que realiza análises no aplicativo em busca de problemas de acessibilidade. O Scanner de Acessibilidade analisa itens, como o contraste entre elementos de texto e a cor de fundo do aplicativo, e valida o rótulo dos botões para que o leitor de tela *TalkBack* possa reconhecê-los. Como resultado da utilização do Scanner de Acessibilidade, a interface do MulseBook Audio 3.0 foi aprimorada e as sugestões apresentadas no Apêndice E foram implementadas a partir dos resultados do teste de acessibilidade do *Google*:

<sup>2</sup>[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.accessibility.auditor&hl=pt\\_BR&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.accessibility.auditor&hl=pt_BR&gl=US)

- (i) A cor dos botões foi alterada para aumentar o destaque, visando auxiliar os usuários com baixa visão.
- (ii) A cor de fundo do aplicativo também foi alterada para aumentar o contraste com a nova cor dos botões.
- (iii) A adição de um ícone aos botões para a identificação padronizada.
- (iv) A inserção do botão voltar (*i.e.*, anteriormente, o botão voltar era identificada por uma seta).



Figura IV.10: MulseBook Audio 3.0: baseado na última versão, o novo aplicativo possui: (a) tela inicial; (b) tela para escolha do audiolivro por rolagem vertical; e (c) tela para reprodução do audiolivro com opções de personalização de preferência do usuário.

Após a implementação das melhorias sugeridas pelo Scanner de Acessibilidade um novo teste de avaliação foi realizado e os resultados são apresentados no Apêndice F. Vale destacar que na versão 3.0, também implementamos o recurso que permite aos usuários habilitarem e desabilitarem os efeitos multissensoriais durante a reprodução da história. A personalização desse recurso possibilita ao usuário atender suas necessidades e preferências durante o uso do aplicativo MulseBook Audio 3.0. Para que os efeitos ocorram durante a reprodução do audiolivro multissensorial, o usuário deve habilitar o item “Animações de reprodução” apresentado no item C da Figura IV.10. A Tabela IV.2 apresenta o comparativo com as versões iniciais do aplicativo MulseBook Audio com a versão 3.0.

Tabela IV.2: Comparativo com todas as versões do MulseBook Audio.

Versão	Linguagem	Acessibilidade	Design centrado no usuário	Compatibilidade TalkBack	Diretrizes WCAG	Teste de acessibilidade do Google
1.0	CSharp (Unity)	Não	Não	Não	Não	Não
2.0	-	Sim	Sim	Não	Sim	Não
3.0	Java (Android Studio)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

## Capítulo V Experimentos

Neste capítulo são apresentadas a condução dos experimentos, a avaliação da funcionalidade e da *interface* do aplicativo MulseBook Audio 3.0, além da inferência de quanto os efeitos multissensoriais influenciam na experiência de leitura dos usuários com deficiência visual. Para isso, ao final da leitura, os voluntários são convidados a responder o questionário de avaliação da Qualidade de Experiência (QoE) e o questionário padronizado *System Usability Scale* (SUS). Realizamos dois experimentos em instituições distintas: o primeiro, foi realizado em parceria com a Associação Friburguense de Integração dos Deficientes Visuais (AFRIDEV), nas instalações do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), unidade de Nova Friburgo; o segundo, foi realizado no Instituto Benjamin Constant (IBC), centro de referência nacional na área da deficiência visual. Participaram dos experimentos o total de 11 voluntários (7 do sexo masculino e 4 do sexo feminino), sendo 7 com grau de deficiência visual grave (cegueira) e 4 com grau moderado (baixa visão). Apresentamos na Tabela V.1 os dados demográficos dos voluntários que participaram dos experimentos.

Tabela V.1: Dados demográficos dos voluntários

Voluntário	Sexo	Idade	Grau de Deficiência Visual	Instituição
#1	M	38	Grave (cegueira)	AFRIDEV
#2	M	35	Grave (cegueira)	AFRIDEV
#3	F	26	Grave (cegueira)	AFRIDEV
#4	M	27	Grave (cegueira)	AFRIDEV
#5	M	41	Moderado (baixa visão)	IBC
#6	F	30	Grave (cegueira)	IBC
#7	M	52	Grave (cegueira)	IBC
#8	M	44	Moderado (baixa visão)	IBC
#9	M	49	Moderado (baixa visão)	IBC
#10	F	38	Grave (cegueira)	IBC
#11	F	28	Moderado (baixa visão)	IBC

Por meio do envio de e-mails à direção da AFRIDEV e do IBC, os voluntários foram convidados a participar dos experimentos, e a seleção consistiu em identificar usuários com baixa visão ou cegos e que tinham familiaridade com audiolivros tradicionais, bem como com o leitor de tela TalkBack. A direção de cada instituição realizou a comunicação interna com seus membros, sendo convidados aqueles que responderam positivamente quanto à participação para o experimento em dia e horário

definidos previamente. Vale ressaltar que realizamos a coleta de dados mediante a aprovação do projeto de pesquisa pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Salgado de Oliveira (UNIVERSO) e da Universidade Federal Fluminense (UFF) sob os protocolos: 46544321.5.0000.5289 e 53886421.0.0000.5626.

Seguimos todas as medidas de segurança sanitária, além dos voluntários terem sido imunizados com, no mínimo, a segunda dose da vacina contra a COVID-19. Realizamos os experimentos em uma sala higienizada e, durante os experimentos, apenas 3 integrantes permaneceram na sala, sendo o pesquisador, o auxiliar e o voluntário. Na Figura V.1 apresentamos os voluntários que participaram do experimento no Instituto Benjamin Constant.



Figura V.1: Voluntários do Instituto Benjamin Constant participando do experimento.

Nas seções seguintes apresentamos os questionários utilizados para a avaliação da QoE do usuário e a avaliação SUS. As respostas aos questionários foram providas verbalmente pelos voluntários utilizando-se a escala *Likert* de 5 pontos, em que 1 ponto significa “discordo totalmente”; 2 pontos equivalem a “discordo em parte”; 3 pontos correspondem a “não discordo e nem concordo”; 4 pontos representam “concordo em parte”; e 5 pontos caracterizam “concordo totalmente”. Ao final da resposta de cada questionário, aplicamos os cálculos para a obtenção dos resultados das avaliações.

### V.1 Avaliação da Qualidade de Experiência

Para a avaliação da Qualidade de Experiência (QoE) dos usuários com deficiência visual, convidamos os voluntários a responder um questionário contendo 11 perguntas de autoavaliação. Formulamos as perguntas com base na Escala EGameFlow [Fu et al., 2009], por ser um instrumento amplamente utilizado na literatura para avaliar o nível de satisfação dos usuários durante o processo de aprendizagem em jogos de *e-learning*. Para esta avaliação, utilizamos as áreas de aparência, navegabilidade e imersão da Escala EGameFlow. Além disso, inserimos ao questionário perguntas sobre os efeitos multissensoriais. Dessa forma, o questionário de avaliação da QoE, apresentado no Apêndice G, foi organizado da seguinte forma:

- Avaliação da aparência e navegabilidade do aplicativo:
  - O tamanho das fontes utilizadas no aplicativo é legível pelo leitor de tela (TalkBack)?
  - Os botões de passagem estão bem posicionados?
  - Eu consigo compreender as funções do aplicativo?
  
- Avaliação sobre os efeitos multissensoriais:
  - Os efeitos estão sincronizados à leitura?
  - A quantidade de efeitos multissensoriais é adequada?
  - Os efeitos são compatíveis com a história?
  
- Avaliação sobre o nível de imersão do usuário:
  - De um modo geral, posso permanecer concentrado no audiolivro.
  - Eu não percebi o tempo passando enquanto estava escutando o audiolivro.
  - Eu fiquei sem saber o que acontecia ao meu redor enquanto escutava o audiolivro.
  - O audiolivro usado me deixou imerso.
  - Eu me senti emocionalmente envolvido com o audiolivro.

Na Tabela V.2 apresentamos os resultados das Avaliações da Qualidade de Experiência (QoE) respondidas pelos voluntários. As médias obtidas com as respostas deste questionário apontam para uma qualidade de experiência satisfatória. Assim, o escore médio foi 4,6 de 5 pontos para a avaliação da QoE.

Tabela V.2: Pontuação Likert do questionário de Avaliação da Qualidade de Experiência (QoE)

Voluntário	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Média
#1	5	5	5	5	5	5	5	5	1	5	5	4,6
#2	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	5	4,7
#3	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4,9
#4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,0
#5	4	5	5	4	5	5	5	4	1	4	4	4,2
#6	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4,9
#7	5	5	5	5	5	5	5	5	1	4	3	4,4
#8	5	5	5	5	5	5	5	2	5	5	1	4,4
#9	5	5	5	5	5	5	5	1	1	5	5	4,3
#10	5	5	5	5	5	5	5	5	1	5	5	4,6
#11	5	5	5	4	3	5	5	5	3	5	4	4,5

É importante ressaltar que a Questão 9 “*Eu fiquei sem saber o que acontecia ao meu redor enquanto escutava o audiolivro*” apresentou pontuações díspares. Debatesmos esse fato junto aos

voluntários de forma individual, e esses apontaram que a utilização de um fone de ouvido poderia minimizar a audição dos sons externos. Entretanto, um voluntário ressaltou que dependendo da doença ocular, como glaucoma, o uso de fones de ouvido poderia causar a sensação de vertigem. Na Figura V.2 apresentamos as médias das respostas do questionário de avaliação da QoE, agrupadas por áreas, indicando que a avaliação sobre o nível de imersão do usuário pode ser aprimorada devido aos sons externos comentados anteriormente.

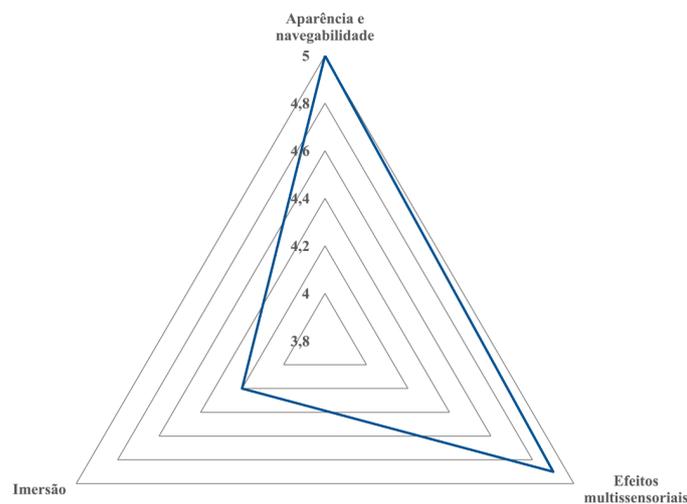


Figura V.2: Média das respostas do Questionário da Avaliação da Qualidade de Experiência (QoE).

## V.2 Avaliação da Usabilidade do Sistema

A avaliação Escala de Usabilidade do Sistema, em inglês, *System Usability Scale* (SUS), foi proposta por John Brooke [Brooke et al., 1996]. Esta avaliação é geralmente utilizada por se tratar de uma pesquisa independente da tecnologia (*e.g.*, novo hardware ou a interface de computadores e de sites), além de ser rápida e de fácil compreensão por todos os envolvidos no projeto. A avaliação SUS consiste em um questionário de 10 perguntas originalmente desenvolvidas na língua inglesa, porém, nesse trabalho, utilizamos a versão traduzida, preservando-se a estrutura e a originalidade das perguntas. As perguntas são relacionadas às áreas de efetividade, eficiência e satisfação do usuário, a saber:

- Efetividade: as tarefas foram concluídas utilizando o sistema ou produto com sucesso pelo usuário?
- Eficiência: quanto de esforço e recurso foram utilizados pelo usuário para concluir a tarefa?
- Satisfação: qual foi o nível de entusiasmo do usuário ao utilizar o sistema ou produto?

A avaliação SUS adota o padrão de pontuação *Likert* de 5 pontos, assim como utilizamos na avaliação da QoE. A metodologia de cálculo dos resultados da avaliação SUS é detalhada a

seguir: perguntas ímpares são subtraídas 1 ponto do valor que o usuário respondeu; perguntas pares são subtraídas 5 pontos. Ao final, deve-se somar o resultado desses valores das 10 perguntas do questionário e multiplicar por 2,5 [Brooke et al., 1996]. Essa metodologia de cálculo ocorre devido a alternância das perguntas utilizadas na avaliação SUS, onde as perguntas ímpares possuem uma conotação positiva acerca da utilização do sistema e as perguntas pares possuem uma afirmativa com polaridade negativa apontando para dificuldades ou defeitos que o sistema em avaliação apresenta.

Os resultados da avaliação SUS variam de 0 a 100 pontos. Na Tabela V.3 apresentamos as classificações de usabilidade para cada pontuação. Produtos com pontuações superiores a 80,2 são classificados como excelentes; de 68 a 80,2 pontos são bons produtos; 67 pontos apresentam baixo padrão, porém ainda aceitáveis; 51 a 67 são categorizados como produtos com problemas/-deficiências; e, abaixo de 51, são produtos de qualidade inferior.

Tabela V.3: Pontuação do SUS com as respectivas classificações de usabilidade. Adaptado de Sasmito et al. [2019].

Pontuação SUS	Grau	Classificação
>80,3	A	Excelente
68-80,2	B	Bom
67	C	Ok
51-66	D	Pobre
<51	E	Péssimo

O questionário SUS pode ser aplicado em um sistema, produto ou serviço. Assim, é importante destacar que adaptamos as perguntas do questionário SUS para o contexto do aplicativo MulseBook Audio 3.0 sendo apresentadas no Apêndice H. Abaixo, listamos as perguntas padrão do questionário [Brooke et al., 1996]:

1. Eu acho que gostaria de usar esse sistema com frequência.
2. Eu acho o sistema mais complexo que o necessário.
3. Eu achei o sistema fácil de usar.
4. Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema.
5. Eu acho que as várias funções do sistema estão muito bem integradas.
6. Eu acho que o sistema apresenta muita inconsistência.
7. Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse sistema rapidamente.
8. Eu achei o sistema complicado de usar.

9. Eu me senti confiante ao usar o sistema.

10. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o sistema.

Na Tabela V.4 apresentamos os dados brutos obtidos pela Avaliação de Usabilidade do Sistema (SUS). Conforme exposto anteriormente, os dados devem ser subtraídos de 1, caso a questão seja ímpar (*i.e.*, 1, 3, 5, 7 e 9) ou subtraídos de 5, caso a questão seja par (*i.e.*, 2, 4, 6, 8 e 10). Após o cálculo, o valor deve ser multiplicado por 2,5 para encontrar a pontuação SUS.

Tabela V.4: Pontuação Likert contendo os dados brutos do questionário de Avaliação de Usabilidade do Sistema

Voluntário	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
#1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
#2	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
#3	5	2	5	1	5	1	5	1	5	1
#4	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
#5	4	1	5	1	4	1	5	1	5	2
#6	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
#7	5	2	5	1	5	1	5	1	5	1
#8	1	1	5	1	5	1	5	1	5	1
#9	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
#10	5	1	5	1	5	3	5	1	5	1
#11	5	2	4	2	5	1	4	1	5	1

Apresentamos os valores subtraídos, o somatório e o resultado final do SUS na Tabela V.5. Realizamos o cálculo da média do resultado final e obtivemos a pontuação de 96,6 de 100 em relação à usabilidade do aplicativo. Dessa forma, o aplicativo MulseBook Audio 3.0 possui a classificação de usabilidade excelente, conforme Tabela V.3.

Apenas três voluntários responderam a Questão 2 “*Eu acho o MulseBook Audio mais complexo que o necessário*” como “Discordo em parte”. Esses voluntários informaram que a tela inicial do aplicativo MulseBook Audio 3.0 poderia ser inexistente, pois há somente o título do aplicativo e um botão central para direcionar o usuário para a escolha do audiolivro. Ao utilizarem o *TalkBack* para a leitura desta tela inicial, os voluntários despenderam mais tempo, pois acreditavam ter mais informações ou outros botões.

Após a realização do experimento e das avaliações, realizamos uma conversa com cada voluntário para auferir mais informações acerca da experiência do usuário com o aplicativo MulseBook Audio 3.0. Todos os voluntários destacaram a importância de inovações na área da tecnologia assistiva, principalmente no campo da educação, e que o MulseBook Audio 3.0 pode envolver tanto crianças quanto adultos nas histórias narradas. Devido aos protocolos de segurança sanitária, os voluntários informaram que em alguns momentos não foi possível perceber o efeito do aroma por estarem utilizando máscaras de proteção.

Tabela V.5: Resultado do questionário de Avaliação de Usabilidade do Sistema

Voluntário	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Somatório	Pontuação SUS
#1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40	100
#2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40	100
#3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40	100
#4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	39	97,5
#5	3	4	4	4	3	4	4	4	4	3	37	92,5
#6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40	100
#7	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	39	97,5
#8	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36	90
#9	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40	100
#10	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	38	95
#11	4	3	4	3	4	4	3	4	4	4	36	90

Os voluntários foram questionados também se já haviam tido experiências com os audiolivros tradicionais. Todos os voluntários responderam positivamente e citaram, como exemplo, a Bíblia Sagrada. Um dos voluntários informou gostar de audiolivros tradicionais, porém, durante a audição, o mesmo acabava adormecendo e que, nesse sentido, os efeitos multissensoriais podem deixá-lo mais desperto e curioso para acompanhar a história narrada. Abaixo, destacamos alguns comentários ou sugestões dos voluntários:

“O aplicativo é muito fácil de usar e as pessoas vão saber usar tranquilamente!”

(Voluntário #1)

“É uma iniciativa maravilhosa! Para aprender, a criança cega precisa sentir e tatear.”

(Voluntário #3)

“Achei a ideia muito legal! Como sugestão, gostaria de poder personalizar as cores dos botões, por exemplo.”

(Voluntário #5)

“Quando vou poder ter uma app assim? É muito legal! Eu senti o vento, o perfume das rosas e parecia que estava chovendo!”

(Voluntário #6)

“Eu varri a tela e já encontrei o botão. É importante nomear os botões, às vezes a gente passa por problema em apps.”

(Voluntário #7)

“Sou baixa visão, ansioso e qualquer coisa me dispersa, e não fiquei disperso. O som do passarinho me despertou mais curiosidade em saber o que viria depois.”

(Voluntário #9)

“Foi legal! Seria interessante colocar (o projeto) em uma biblioteca - um futuro cinema (para os cegos).”

(Voluntário #10)

“Os efeitos estão muito bem sincronizados, mas acho que poderiam incluir mais efeitos.”

(Voluntário #11)

Embora os resultados da avaliação SUS apontem para uma excelente classificação de usabilidade, identificamos, com base nos comentários e sugestões dos voluntários, possíveis melhorias no aplicativo MulseBook Audio 3.0. Além disso, identificamos também que os voluntários experienciaram de forma positiva os efeitos multissensoriais durante a leitura, indicando, assim, a viabilidade do modelo dos audiolivros multissensoriais no aprimoramento da QoE dos usuários com deficiência visual.

## Capítulo VI Conclusão

A educação de indivíduos com deficiência visual é um grande desafio nos dias atuais [Kapur, 2018]. Os currículos escolares são orientados ao uso intensivo da visão, contemplando, assim, somente um dos cinco sentidos humanos [Sahasrabudhe and Palvia, 2013]. Na literatura, é possível encontrar trabalhos publicados sobre soluções de tecnologia assistiva para esses indivíduos, entretanto, até onde se sabe, nenhum estudo apresentou uma evolução dos audiolivros tradicionais com mídias multissensoriais e concebidos, especialmente, para pessoas com deficiência visual. Ao realizarmos a validação do modelo intitulado audiolivros multissensoriais, apresentamos as versões iniciais (i.e., 1.0 e 2.0) e desenvolvemos a versão 3.0 do MulseBook Audio, em conformidade com as diretrizes de acessibilidade WCAG 2.0.

É importante ressaltar que, ao desenvolvermos a versão do aplicativo intitulada MulseBook Audio 3.0, levamos em consideração os critérios de acessibilidade e compatibilidade com o sistema *TalkBack*, nativo do *Android*. Apesar da interface gráfica e das funcionalidades do aplicativo terem sido desenvolvidas para usuários com baixa visão ou cegos, o MulseBook Audio 3.0 também pode ser utilizado por indivíduos com dislexia ou sem deficiência. O aplicativo MulseBook Audio 3.0, ao se conectar à plataforma MulSeMedia, reproduz o audiolivro e ao menos 3 efeitos multissensoriais, proporcionando maior imersão do usuário na história.

Como segunda contribuição desse trabalho, desenvolvemos a ferramenta de autoria intitulada Multisensorial Audiobooks Authoring Tool (MAAT). Essa ferramenta possibilita a criação, edição e personalização das anotações dos efeitos, configurando o sincronismo da história com os efeitos multissensoriais. A MAAT possui uma interface gráfica intuitiva e amigável, o que facilita a utilização por usuários sem conhecimento prévio. Dessa forma, qualquer usuário poderá realizar a autoria de audiolivros multissensoriais.

Com o objetivo de validar o modelo dos audiolivros multissensoriais no aprimoramento da Qualidade de Experiência (QoE) de usuários com deficiência visual, realizamos experimentos com usuários de baixa visão ou cegos. Os experimentos foram conduzidos com a participação de 11 voluntários (7 do sexo masculino e 4 do sexo feminino) oriundos de duas instituições: Associação Friburguense de Integração dos Deficientes Visuais (AFRIDEV) e Instituto Benjamin Constant (IBC). Para a realização dos experimentos, os voluntários utilizaram o aplicativo MulseBook Audio 3.0 e a primeira história para audiolivros multissensoriais intitulada “Cida e Adão em uma

experiência multissensorial”.

Ao final do experimento, convidamos os voluntários a responder o questionário de Avaliação da Qualidade de Experiência (QoE) e o questionário padronizado *System Usability Scale* (SUS) com o objetivo de: (i) inferir o quanto os efeitos multissensoriais poderiam influenciar na experiência de leitura desses usuários, e; (ii) validar a usabilidade do aplicativo MulseBook Audio 3.0. As respostas aos questionários foram realizadas verbalmente pelos voluntários utilizando-se a escala *Likert* de 5 pontos. Para a Avaliação da QoE formulamos 11 questões com base nas áreas de aparência, navegabilidade e imersão da Escala EGameFlow, utilizando a pontuação de 1 a 5 pontos, em que o escore médio foi de 4,6 pontos. Para a avaliação SUS, o questionário consistiu em 10 perguntas relacionadas às áreas de efetividade, eficiência e satisfação do usuário, e a pontuação obtida foi de 96,6 de 100, indicando que o aplicativo MulseBook Audio 3.0 possui a classificação de usabilidade excelente.

Os resultados dos experimentos apontam que o aplicativo MulseBook Audio 3.0, bem como o modelo dos audiolivros multissensoriais, possui viabilidade para aprimorar a QoE dos usuários com deficiência visual. Durante os experimentos, foi possível identificar que os usuários foram positivamente surpreendidos pelos efeitos multissensoriais durante a leitura do audiolivro e, com isso, ficaram mais interessados na história, estimulando, assim, a imaginação desses usuários. Dessa forma, o modelo dos audiolivros multissensoriais atingiu o objetivo inicial: propor a evolução na experiência de leitura dos audiolivros tradicionais e considerar a acessibilidade de usuários com deficiência visual.

## VI.1 Contribuições

Resumidamente, as contribuições do presente trabalho são:

- A validação do modelo dos audiolivros multissensoriais.
- O desenvolvimento do aplicativo MulseBook Audio, desde as primeiras versões até a versão 3.0. Essa última versão foi desenvolvida seguindo as recomendações das Diretrizes WCAG da versão 2.0 e do Scanner de Acessibilidade do Google, e com total compatibilidade ao leitor de tela *TalkBack*.
- O desenvolvimento de uma ferramenta de autoria para audiolivros multissensoriais, intitulada MAAT.
- Por fim, a realização dos experimentos com usuários com baixa visão ou cegos que avaliaram a QoE desses usuários com o uso dos audiolivros multissensoriais.

Abaixo, encontram-se as contribuições de estudos publicados ao longo do desenvolvimento do presente trabalho:

- Okuno, Helder Yukio, and Netto, Silvino, and Guedes, Gustavo. *Multisensorial Audiobooks*. In: Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO 2020), Loja - Equador.
- Okuno, Helder Yukio, and Moura, Byatriz Rosa, and Netto, Silvino, and Guedes, Gustavo. *Multisensorial Audiobooks: Improving Accessibility with WCAG Standard*. In: Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO 2021), Arequipa - Perú.
- Okuno, Helder Yukio, and Carvalho, Flavio, and Guedes, Gustavo. *MAAT: Multisensorial Audiobooks Authoring Tool*. In: Brazillian Symposium on Multimedia and the Web (Webmedia 2021), Minas Gerais.
- Okuno, Helder Yukio, and Sardou, Patrick Rodrigues, and Freitas, Bruno Policarpo Toledo, and Júnior, Fábio Paschoal, and Guida, Aline, and Netto, Silvino, and Guedes, Gustavo. *Audiolivros Multissensoriais uma evolução na experiência de leitura para pessoas com deficiência visual*. In: Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação (RISTI 2023), Rio Tinto - Portugal (aceito para publicação).

## VI.2 Limitações

Devido à pandemia da COVID-19, os voluntários participantes dos experimentos utilizaram máscaras de proteção, em cumprimento aos protocolos de segurança sanitária. Dessa forma, ao final do experimento, alguns voluntários relataram a dificuldade na identificação do aroma utilizado durante o estudo. Parte deles em virtude da utilização de máscaras de proteção ou devido às sequelas da COVID-19.

Outra limitação identificada durante os experimentos foram ruídos externos à sala. O primeiro experimento foi realizado nas instalações do CEFET/RJ de Nova Friburgo, que tem proximidade a uma rodovia movimentada. O segundo experimento foi realizado no Instituto Benjamin Constant (IBC), em que, em dado momento, havia intenso fluxo de pessoas na área externa à sala do experimento.

Por fim, ao longo da realização dos experimentos, notamos uma grande intermitência no funcionamento do emissor de infravermelho (IR). Em alguns momentos, o sinal de IR não era emitido corretamente, conseqüentemente comprometendo o funcionamento do difusor de aromas. Como solução de contorno, e para que os experimentos não fossem inviabilizados, realizamos de forma

manual a ativação do efeito, dado que a ativação e desativação de cada efeito era apresentada no monitor conectado à plataforma MulSeMedia.

### VI.3 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, planejamos implementar melhorias no aplicativo MulseBook Audio 3.0, permitindo aos usuários a personalização da interface (*e.g.*, cor dos botões, tamanho das fontes), bem como a criação de novas histórias para os audiolivros multissensoriais inspiradas em clássicos literários, por exemplo. Além disso, pretendemos permitir a utilização de fones de ouvido para evitar possíveis ruídos externos e promover uma melhor experiência ao usuário. Outra melhoria seria a compatibilização do aplicativo MulseBook Audio 3.0 e da ferramenta de autoria MAAT com a norma ISO/IEC 23005, também conhecida como MPEG-V.

O segundo trabalho futuro, relaciona-se com a criação de uma sala para audiolivros multissensoriais. Em parceria com o Instituto Benjamin Constant (IBC), OSCIP Brasil Forte e o CEFET/RJ, pretendemos disponibilizar o aparato do modelo dos audiolivros multissensoriais em uma sala do IBC destinada à comunidade de discentes, docentes e ao público em geral. Dessa forma, permitindo a continuidade e a ampliação do estudo sobre os audiolivros multissensoriais à toda comunidade acadêmica que venha a se interessar e desenvolver soluções de tecnologia assistiva.

Finalmente, após a implementação dos trabalhos futuros destacados anteriormente, pretendemos realizar um novo experimento com mais participantes divididos em grupos experimental e de controle. Esperamos que, mediante a melhoria do panorama epidemiológico da COVID-19, seja possível realizar este experimento com mais voluntários, além de expandir a faixa etária deste grupo, incluindo crianças com deficiência visual. Em seguida, publicaremos os resultados da pesquisa em revistas e artigos científicos.

## Referências Bibliográficas

- Abreu, R., Mattos, D., Santos, J. A. d., and Muchaluat-Saade, D. C. (2019). Semi-automatic synchronization of sensory effects in mulsemmedia authoring tools. In *Proceedings of the 25th Brazillian Symposium on Multimedia and the Web*, pages 201–208, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC. 35
- Ademoye, O. A., Murray, N., Muntean, G.-M., and Ghinea, G. (2016). Audio masking effect on inter-component skews in olfaction-enhanced multimedia presentations. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 12(4):1–14. 16
- Afonso de Lara, S. M., Watanabe, W. M., dos Santos, E. P. B., and Fortes, R. P. (2010). Improving wcag for elderly web accessibility. In *Proceedings of the 28th ACM international conference on design of communication*, pages 175–182. 23
- Alam, K. M., Rahman, A. S. M. M., and Saddik, A. E. (2013). Mobile haptic e-book system to support 3d immersive reading in ubiquitous environments. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 9(4):1–20. 26
- Alkasasbeh, A. A. and Ghinea, G. (2020). Using olfactory media cues in e-learning—perspectives from an empirical investigation. *Multimedia Tools and Applications*, 79(27):19265–19287. 16
- ATIA (2021). Assistive Technology Industry Association. 20
- Bersch, R. (2008). Introdução à tecnologia assistiva. *Porto Alegre: CEDI*, 21. 20
- Bhowmick, A. and Hazarika, S. M. (2017). An insight into assistive technology for the visually impaired and blind people: state-of-the-art and future trends. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 11(2):149–172. 15
- Brooke, J. et al. (1996). Sus-a quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194):4–7. 16, 45, 46
- Brunnström, K., Beker, S. A., De Moor, K., Dooms, A., Egger, S., Garcia, M.-N., Hossfeld, T., Jumisko-Pyykkö, S., Keimel, C., Larabi, M.-C., Lawlor, B., Le Callet, P., Möller, S., Pereira, F., Pereira, M., Perkis, A., Pibernik, J., Pinheiro, A., Raake, A., Reichl, P., Reiter, U., Schatz,

- R., Schelkens, P., Skorin-Kapov, L., Strohmeier, D., Timmerer, C., Varela, M., Wechsung, I., You, J., and Zgank, A. (2013). Qualinet White Paper on Definitions of Quality of Experience. Qualinet White Paper on Definitions of Quality of Experience Output from the fifth Qualinet meeting, Novi Sad, March 12, 2013. 15
- Buhalis, D., Harwood, T., Bogicevic, V., Viglia, G., Beldona, S., and Hofacker, C. (2019). Technological disruptions in services: lessons from tourism and hospitality. *Journal of Service Management*. 14
- Cavallo, G. and Chartier, R. (2003). *A History of Reading in the West*. Polity. 14
- Covaci, A., Trestian, R., Saleme, E. a. B., Comsa, I.-S., Assres, G., Santos, C. A. S., and Ghinea, G. (2019). 360° mulsemedia: A way to improve subjective qoe in 360° videos. In *Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia*, MM '19, page 2378–2386, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery. 15, 22
- Covaci, A., Zou, L., Tal, I., Muntean, G.-M., and Ghinea, G. (2018). Is multimedia multisensorial?- a review of mulsemedia systems. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 51(5):1–35. 23
- Craig, A. D. (2003). Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Current opinion in neurobiology*, 13(4):500–505. 23
- de Amorim, M. N., Saleme, E. B., de Assis Neto, F. R., Santos, C. A., and Ghinea, G. (2019). Crowdsourcing authoring of sensory effects on videos. *Multimedia Tools and Applications*, 78(14):19201–19227. 35
- Diniz, D. (2017). *O que é deficiência*. Brasiliense. 15
- Douglas, G. and McLinden, M. (2004). Visual impairment. *SPECIAL TEA*, page 26. 18
- Edyburn, D. L. (2004). Rethinking assistive technology. *Special Education Technology Practice*, 5(4):16–23. 20
- Egan, D., Brennan, S., Barrett, J., Qiao, Y., Timmerer, C., and Murray, N. (2016). An evaluation of heart rate and electrodermal activity as an objective qoe evaluation method for immersive virtual reality environments. In *2016 Eighth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, pages 1–6. IEEE. 16
- Frick, K. D., Gower, E. W., Kempen, J. H., and Wolff, J. L. (2007). Economic impact of visual impairment and blindness in the united states. *Archives of ophthalmology*, 125(4):544–550. 18
- Fu, F.-L., Su, R.-C., and Yu, S.-C. (2009). Egameflow: A scale to measure learners' enjoyment of e-learning games. *Computers & Education*, 52(1):101–112. 16, 43

- Ghinea, G., Timmerer, C., Lin, W., and Gulliver, S. R. (2014). Mulsemedia: State of the art, perspectives, and challenges. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 11(1s):1–23. 15, 16, 22
- Guedes, G. P. (2018). Multisensorial books: improving readers' quality of experience. In *2018 XIII Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO)*, pages 33–36, New York, NY, USA. IEEE, IEEE. 14, 15, 22, 26, 31
- Have, I. and Pedersen, B. S. (2015). *Digital audiobooks: New media, users, and experiences*. Routledge. 14
- Hurst, A. and Tobias, J. (2011). Empowering individuals with do-it-yourself assistive technology. In *The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, pages 11–18. 20
- IAPB (2021). International Agency for the Prevention of Blindness's Vision Atlas. 18
- IBGE (2010). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 15
- Jalal, L., Anedda, M., Popescu, V., and Murrioni, M. (2018). Qoe assessment for iot-based multi sensorial media broadcasting. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 64(2):552–560. 16
- Jalal, L. and Murrioni, M. (2017). Enhancing tv broadcasting services: A survey on mulsemedia quality of experience. In *2017 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, pages 1–7. IEEE. 22
- Jennett, C., Cox, A. L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T., and Walton, A. (2008). Measuring and defining the experience of immersion in games. *International journal of human-computer studies*, 66(9):641–661. 25
- Judge, S., Floyd, K., and Jeffs, T. (2015). Using mobile media devices and apps to promote young children's learning. *Young Children and Families in the Information Age: Applications of Technology in Early Childhood*, pages 117–131. 15
- Kapur, R. (2018). Challenges experienced by visually impaired students in education. *Unpublished paper available at researchgate*. 50
- Karlsson, P., Allsop, A., Dee-Price, B.-J., and Wallen, M. (2018). Eye-gaze control technology for children, adolescents and adults with cerebral palsy with significant physical disability: Findings from a systematic review. *Developmental neurorehabilitation*, 21(8):497–505. 14

- Keighrey, C., Flynn, R., Murray, S., and Murray, N. (2017). A qoe evaluation of immersive augmented and virtual reality speech & language assessment applications. In *2017 Ninth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, pages 1–6. IEEE. 16
- Kelly, S. M. and Smith, D. W. (2011). The impact of assistive technology on the educational performance of students with visual impairments: A synthesis of the research. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 105(2):73–83. 15
- Kim, S.-K. (2013). Authoring multisensorial content. *Signal Processing: Image Communication*, 28(2):162–167. 35
- Kunze, K., Sanchez, S., Dingler, T., Augereau, O., Kise, K., Inami, M., and Tsutomu, T. (2015). The augmented narrative: toward estimating reader engagement. In *Proceedings of the 6th augmented human international conference*, pages 163–164. 25
- Lewis, A. and Norwich, B. (2004). *Special teaching for special children? Pedagogies for inclusion: a pedagogy for inclusion?* McGraw-Hill Education (UK). 19
- Mahmud, M. H., Saha, R., and Islam, S. (2013). Smart walking stick-an electronic approach to assist visually disabled persons. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(10):111–114. 20
- Manduchi, R. and Kurniawan, S. (2018). *Assistive technology for blindness and low vision*. CRC Press. 15
- Menezes, N. C. and Ribeiro, S. F. (2008). Audiolivro: uma importante contribuição tecnológica para os deficientes visuais. *PontodeAcesso*, 2(3):58–72. 14
- Mesfin, G., Hussain, N., Kani-Zabihi, E., Covaci, A., Saleme, E. B., and Ghinea, G. (2020). Qoe of cross-modally mapped mulsemia: an assessment using eye gaze and heart rate. *Multimedia Tools and Applications*, 79(11):7987–8009. 16
- Michaels, C. A. and McDermott, J. (2003). Assistive technology integration in special education teacher preparation: Program coordinators’ perceptions of current attainment and importance. *Journal of special Education technology*, 18(3):29–44. 20
- Möller, S. and Raake, A. (2014). *Quality of experience: advanced concepts, applications and methods*. Springer. 16
- Mon, C. S., Yap, K. M., and Ahmad, A. (2019). A preliminary study on requirements of olfactory, haptic and audio enabled application for visually impaired in edutainment. In *2019 IEEE 9th*

- Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)*, pages 249–253. IEEE. 26
- Monks, J., Olaru, A., Tal, I., and Muntean, G.-M. (2017). Quality of experience assessment of 3d video synchronised with multisensorial media components. In *2017 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, pages 1–6. IEEE. 16
- Murray, N., Lee, B., Qiao, Y., and Miro-Muntean, G. (2016). The influence of human factors on olfaction based mulsemedia quality of experience. In *2016 Eighth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, pages 1–6. IEEE. 16
- Newell, A. (2003). Inclusive design or assistive technology. In *Inclusive design*, pages 172–181. Springer. 20
- Okuno, H. Y. and Guedes, G. (2020). Automatic xml creation for multisensorial books. In *2020 XV Conferencia Latinoamericana de Tecnologias de Aprendizaje (LACLO)*, pages 1–6, New York, NY, USA. IEEE. , 34, 36
- Okuno, H. Y., Netto, S., and Guedes, G. (2020). Multisensorial audiobooks. In *2020 XV Conferencia Latinoamericana de Tecnologias de Aprendizaje (LACLO)*, pages 1–6, New York, NY, USA. IEEE. , 14, 27, 37
- ONU (2006). Convention on the rights of persons with disabilities. *Treaty Series*, 2515:3. 15
- Osaba, M., Doro, J., Liberal, M., Lagunas, J., Kuo, I. C., and Reviglio, V. E. (2019). Relationship between legal blindness and depression. *Medical Hypothesis, Discovery and Innovation in Ophthalmology*, 8(4):306. 18
- Petit, O., Cheok, A. D., Spence, C., Velasco, C., and Karunanayaka, K. T. (2015). Sensory marketing in light of new technologies. In *Proceedings of the 12th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, pages 1–4. 22
- Plos, O., Buisine, S., Aoussat, A., Mantelet, F., and Dumas, C. (2012). A universalist strategy for the design of assistive technology. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(6):533–541. 20
- Portet, F., Vacher, M., Golanski, C., Roux, C., and Meillon, B. (2013). Design and evaluation of a smart home voice interface for the elderly: acceptability and objection aspects. *Personal and Ubiquitous Computing*, 17(1):127–144. 14

- Pradhan, A., Mehta, K., and Findlater, L. (2018). Accessibility came by accident” use of voice-controlled intelligent personal assistants by people with disabilities. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on human factors in computing systems*, pages 1–13. 14
- Rahman, A. S. M. M., Alam, K. M., and El Saddik, A. (2011). Augmented he-book: a multimedia based extension to support immersive reading experience. In *International Conference on Autonomous and Intelligent Systems*, pages 321–330. Springer. 25
- Rainer, B., Walzl, M., Cheng, E., Shujau, M., Timmerer, C., Davis, S., Burnett, I., Ritz, C., and Hellwagner, H. (2012). Investigating the impact of sensory effects on the quality of experience and emotional response in web videos. In *2012 Fourth International Workshop on Quality of multimedia experience*, pages 278–283. IEEE. 22
- Reid, L. G. and Snow-Weaver, A. (2008). Wcag 2.0: a web accessibility standard for the evolving web. In *Proceedings of the 2008 international cross-disciplinary conference on Web accessibility (W4A)*, pages 109–115. 23
- Robles-Bykbaev, V., López-Nores, M., Galán-Mena, J. A., Wong, V. C. L., Quisi-Peralta, D., Lima-Juma, D., Fernández, C. A. A., and Pazos-Arias, J. J. (2017). An intelligent ecosystem to support the development of communication skills in children with autism: An experience based on ontologies, multi-sensory stimulation rooms, and robotic assistants. In *Smart Technology Applications in Business Environments*, pages 109–133. IGI Global. 22
- Rose, D. H., Hasselbring, T. S., Stahl, S., and Zabala, J. (2005). Assistive technology and universal design for learning: Two sides of the same coin. *Handbook of special education technology research and practice*, pages 507–518. 15
- Rubery, M. (2017). *The untold story of the talking book*. Harvard University Press. 14
- Rubin, G. S. and Legge, G. E. (1989). Psychophysics of reading. vi—the role of contrast in low vision. *Vision research*, 29(1):79–91. 20
- Sahasrabudhe, S. and Palvia, P. (2013). Academic challenges of blind students and their mitigation strategies. In *Proceedings of the Nineteenth Americas Conference on Information Systems, Chicago, Illinois*, pages 15–17. Citeseer. 50
- Sanchez, S., Dingler, T., Gu, H., and Kunze, K. (2016). Embodied reading: A multisensory experience. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 1459–1466. 25

- Sasmito, G. W., Nishom, M., et al. (2019). Usability testing based on system usability scale and net promoter score. In *2019 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*, pages 540–545. IEEE. , 46
- Shams, L. and Seitz, A. R. (2008). Benefits of multisensory learning. *Trends in cognitive sciences*, 12(11):411–417. 23
- Silva, E. P., Amorim, G., Guedes, G., Santos, J. d., and Mousinho, R. (2021). The influence of multisensory media on learning children with reading disorder. *Revista Psicopedagogia*, 38(115):104–120. 14, 27, 31
- Smith, R. O., Scherer, M. J., Cooper, R., Bell, D., Hobbs, D. A., Pettersson, C., Seymour, N., Borg, J., Johnson, M. J., Lane, J. P., et al. (2018). Assistive technology products: a position paper from the first global research, innovation, and education on assistive technology (great) summit. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 13(5):473–485. 20
- Snellen, H. (1873). *Probekbuchstaben zur bestimmung der sehstärke*. H. Peters. , 18, 19
- Sue, S. (2007). Test distance vision using a snellen chart. *Community Eye Health*, 20(63):52. 19
- Sulema, Y. (2016). Mulsemedia vs. multimedia: State of the art and future trends. In *2016 International conference on systems, signals and image processing (IWSSIP)*, pages 1–5. IEEE. 16
- Timmerer, C., Walzl, M., Rainer, B., and Hellwagner, H. (2012). Assessing the quality of sensory experience for multimedia presentations. *signal processing: image communication*, 27(8):909–916. 15, 22
- Vieira, N., Pinto, A., Silva, F., Okuno, H., Amorim, I., Ramos, T., Haddad, D., Amorim, G., Guedes, G. P., and dos Santos, J. (2018). Evaluating the influence of mulsemmedia content in reading. In *Proceedings of the 24th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, pages 133–136, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery. 26
- W3C (2014). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0. Technical report, <https://www.w3.org/Translations/WCAG20-pt-br/>. 23
- W3C (2015). Mobile Accessibility: How WCAG 2.0 and Other W3C/WAI Guidelines Apply to Mobile. Technical report, <https://www.w3.org/TR/mobile-accessibility-mapping/>. 23
- W3C (2018). How to meet wcag 2.0: A customizable quick reference to web content accessibility guidelines (wcag) 2.0 requirements (success criteria) and techniques. , 24

- Waltl, M., Timmerer, C., and Hellwagner, H. (2010). Improving the quality of multimedia experience through sensory effects. In *2010 Second International Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, pages 124–129. IEEE. 16
- Watson, S. and Johnston, L. (2007). Assistive technology in the inclusive science classroom. *The Science Teacher*, 74(3):34. 20
- Wauters, L. and Dirks, E. (2017). Interactive reading with young deaf and hard-of-hearing children in ebooks versus print books. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 22(2):243–252. 15
- WHO (2004). *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems: Alphabetical index*, volume 3. World Health Organization. 18
- WHO (2011). *World report on disability 2011*. World Health Organization. 14, 22
- WHO (2017). *Global Research, Innovation and Education in Assistive Technology*. 20
- WHO (2021). *World report on vision*. , 18, 19, 20
- Xu, H., Pereira, F., Timmerer, C., and Ebrahimi, T. (2015). Towards quality of sensory experience in multimedia. In *Proceedings of 2015 European Conference on Networks and Communications (EUCNC), Brussels, Belgium, IEEE (June 2015)*, pages 627–628. 16
- Zou, L., Tal, I., Covaci, A., Ibarrola, E., Ghinea, G., and Muntean, G.-M. (2017). Can multisensorial media improve learner experience? In *Proceedings of the 8th ACM on Multimedia Systems Conference*, pages 315–320. 22

## Apêndice A Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

A presente pesquisa tem por objetivo realizar experimentos para avaliação da Qualidade de Experiência (QoE) dos usuários de audiolivros multissensoriais e testar a usabilidade do aplicativo MulseBook Audio. A expectativa é a identificação de possíveis melhorias no aplicativo de execução de audiolivros com suporte externo a efeitos multissensoriais.

Para atingir tal objetivo serão aplicados dois questionários padronizados, um sobre Qualidade de Experiência do usuário com relação à escuta de audiolivros multissensoriais, e outro sobre a Usabilidade do Sistema (SUS), com o objetivo de avaliar as funcionalidades e interface gráfica do aplicativo utilizado para reproduzir os audiolivros. Os resultados destes questionários serão correlacionados, de forma agrupada, com o desempenho da leitura em forma de áudio para inclusão de pessoas com deficiência visual e/ou dislexia.

Os possíveis benefícios desta pesquisa são: (1) melhoria na QoE no uso de audiolivros multissensoriais, (2) utilizar aplicativos para inclusão digital e acessibilidade, (3) incentivar a leitura e o estudo como forma de entretenimento geral.

A pesquisa possui os seguintes riscos: (1) os indivíduos acharem inapropriado responder questionários sobre Qualidade de Experiência (QoE) e Usabilidade do Sistema (SUS). Como mitigação a este risco o indivíduo está recebendo este documento de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para que ele possa ter conhecimento da pesquisa e concordar ou não com sua participação. Somente os indivíduos que concordarem com o TCLE participarão da pesquisa. (2) Dados sobre os indivíduos vazarem. Para mitigar este risco e garantir a sua privacidade, sua identidade não será revelada. Os dados da pesquisa serão acessados somente pelos pesquisadores incluídos na pesquisa. Os dados serão armazenados em um repositório com acesso restrito somente aos pesquisadores. Todos os pesquisadores assinaram um termo de confidencialidade se comprometendo a não divulgar os dados dos indivíduos. Os resultados do estudo serão divulgados exclusivamente pelos pesquisadores em formato de relatórios e/ou artigos científicos.

A pesquisa é liderada pelo CEFET-RJ. Este estudo está sendo desenvolvido no DEPIN (De-

partamento de Informática) nos cursos de Bacharelado em Ciência da Computação e Mestrado em Ciência da Computação do CEFET/RJ, pelo professor Gustavo Paiva Guedes e Silva.

E-mail do pesquisador para contato: [gustavo.silva@cefet-rj.br](mailto:gustavo.silva@cefet-rj.br).

Convidamos você a participar deste estudo. Sua participação é voluntária e você poderá desistir a qualquer momento. Sua participação no estudo não implicará em custos adicionais, não terá qualquer despesa com a realização dos procedimentos previstos neste estudo. Também não haverá nenhuma forma de benefício acadêmico ou financeiro pela sua participação. A Avaliação formal na disciplina não será afetada pela participação ou não na pesquisa.

É garantido o direito a indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa. Compreendo que posso me retirar do estudo a qualquer momento, sem sofrer qualquer penalidade. Dou meu consentimento de livre e espontânea vontade para participar deste estudo e garanto responder a esta pesquisa de forma honesta para contribuir ao máximo com os resultados propostos. Você receberá uma via idêntica deste documento assinada pelo pesquisador do estudo. O Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Salgado de Oliveira (UNIVERSO) encontra-se à disposição para eventuais esclarecimentos éticos e outras providências que se façam necessárias (E-mail: [cepuniverso@nt.universo.edu.br](mailto:cepuniverso@nt.universo.edu.br); Telefone: (21) 2138-4983).

Local: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

---

Assinatura do Sujeito da Pesquisa

---

Assinatura do Pesquisador

## Apêndice B História - Cida e Adão em uma experiência multissensorial

Texto escrito por Silvino Netto

Cida e Adão são dois amigos que estão sempre batendo um bom papo sobre as coisas que eles descobrem. Eles são muito curiosos e são muito inteligentes. Eles gostam de conversar sobre música, esporte, arte, literatura, matemática, natureza e outros assuntos que ajudam a desenvolver o potencial que eles têm.

Cida e Adão também gostam muito das pessoas. Procuram respeitar os seus pais, os seus colegas e amam o seu país. Seus colegas acham interessante porque eles se chamam Cida e Adão. E na verdade eles são muito bons cidadãos.

Cida e Adão costumam ler livros de histórias sentados num banco da Praça da Educação pertinho de onde eles moram. Essa praça tem vários brinquedos que estimulam e desenvolvem diversas potencialidades. A praça tem um jardim com flores perfumosas e é visitada pelos pássaros que voam em bando cantando suas belas canções. Hoje Cida e Adão vão ler o livro que tem o seguinte título: “Você, Cida e Adão” esse livro apresenta as várias inteligências que todos nós temos precisamos desenvolver pra descobrir as nossas inteligências e nos prepararmos na escola. Estudando muito e muito pra sermos felizes na profissão que decidimos exercer. Todos devem ter essa oportunidade. Mesmo aqueles que possam ter alguma dificuldade física ou de aprendizagem.

Cida e Adão estavam folheando o livro pra ler uma historinha quando viram que um grande amigo dele se aproximava. Era o amigo Gustavo. Um menino muito esperto e alegre. Gustavo tinha deficiência visual. Cida e Adão cumprimentaram Gustavo e o convidaram pra sentar-se com eles pra juntos ouvirem a leitura de uma das historinhas do livro “Você, Cida e Adão”.

Gustavo aceitou o convite e assentou-se com eles no banco da Praça da Educação. Cida abriu o livro e sugeriu que lessem a historinha intitulada “Amo a Natureza”. Okay! Disseram Adão e Gustavo. Vamos ouvi-la. Então Cida começou a ler em voz alta:

Que belo é o mundo,  
Com tantos bichinhos...  
O céu estrelado,  
O vento a soprar;

O sol bem quentinho,  
Nuvens brancas bailando no ar;  
As ondas do mar  
Brincando na praia  
Pra lá e pra cá...  
Flores do campo  
Perfumam a terra  
Rosas, lírios, jasmíns!  
E para fazer a semente brotar  
A chuva rega a terra  
Fazendo a planta crescer, crescer e crescer...  
Da Natureza colhemos legumes, verduras,  
Maçãs, uvas, bananas, frutas maduras  
E tantas coisas gostosas pra gente comer!  
Devemos cuidar e amar a natureza.  
Pois ela todos os dias nos dá com amor, sua riqueza e beleza.

E aí? Vocês gostaram da história? Perguntou Cida. Que legal essa historinha sobre a natureza, disse Gustavo. Precisamos mesmo cuidar e amar a natureza. E Gustavo continuou dizendo: quando Cida estava lendo a historinha eu pude sentir o efeito de várias palavras por exemplo o vento a soprar, o barulho das ondas do mar, o perfume das flores e a chuva caindo e regando a terra. Cida e Adão disseram: Nós também! Que legal! A historinha se tornou mais real com os efeitos que sentimos. E bateram palmas.

Os três se levantaram e disseram: Bem, está na hora de voltarmos para casa porque vamos ter aula na escola logo mais, no turno da tarde. Cida, Adão e Gustavo, combinaram de se encontrar todas as manhãs na Praça da Educação para continuar a leitura do livro "Você, Cida e Adão", pois querem conhecer mais sobre as outras inteligências.

Na próxima vez, vão ler sobre a inteligência musical porque o Gustavo gosta muito de música. Ele toca violão muito bem. Cida, Adão e Gustavo fazem parte do time "Somos todos cidadãos inteligentes". Faça parte também do time "Somos todos cidadãos inteligentes".

## Apêndice C Código-fonte do controlador server-side

```
1 import socket
2 import sys
3 import time
4 import RPi.GPIO as GPIO
5 import os
6 from pygame import mixer
7
8 def switch_rele(rele, action):
9     rele_status = GPIO.input(rele)
10
11     if action == 'on':
12         if not rele_status:
13             GPIO.output(rele, GPIO.HIGH)
14     elif action == 'off':
15         if rele_status:
16             GPIO.output(rele, GPIO.LOW)
17
18 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
19 GPIO.setwarnings(False)
20 RELE_FAN = 7
21 GPIO.setup(RELE_FAN, GPIO.OUT)
22
23 sounds_volume = {
24     'birds.mp3': 0.8,
25     'claps.mp3': 0.5,
26     'leaf_through.mp3': 0.5,
27     'rain.mp3': 0.2,
28     'sea.mp3': 0.7
29 }
30
31 AUDIO_FADEIN_TIME = 1000
32 AUDIO_FADEOUT_TIME = 1500
33
34 sys.stdout.flush()
35
```

```
36 HOST = ''
37 PORT = 50005
38 arrtmp = ''
39 DIFFUSER_POWER_COMMAND = "sudo irsend SEND_ONCE pwteste DIF_POWER"
40 FAN_POWER_COMMAND = "sudo irsend SEND_ONCE pwteste KEY_POWER"
41 FAN_POWER_TYPE = 'rele'
42
43 s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
44 print('Socket criado')
45
46 try:
47     s.bind((HOST, PORT))
48 except socket.error as msg:
49     print('Falha na comunicacao. Erro : ' + str(msg[0]) + ' Mensagem ' + msg[1])
50     sys.exit()
51
52 print('Socket iniciado')
53 s.listen(10)
54 print('Socket em escuta')
55
56 startlog = time.time()
57
58 comandos = []
59 isPaused = False
60
61 while 1:
62     conn, addr = s.accept()
63     data = conn.recv(1024)
64     arrtmp = data.split('|', 4)
65     print(data)
66
67     if arrtmp[0] == 'pause':
68         isPaused = True
69         print(comandos)
70
71         for i in comandos:
72             if i == 'fan':
73                 if FAN_POWER_TYPE == 'ir':
74                     os.system(FAN_POWER_COMMAND)
75                 elif FAN_POWER_TYPE == 'rele':
76                     switch_rele(RELE_FAN, 'off')
77             elif i == 'speaker':
78                 mixer.music.pause()
```

```

79         elif i == 'diffuser':
80             os.system(DIFFUSER_POWER_COMMAND)
81
82     elif arrtmp[0] == 'play':
83         isPaused = False
84         print(comandos)
85
86         for i in comandos:
87             if i == 'fan':
88                 if FAN_POWER_TYPE == 'ir':
89                     os.system(FAN_POWER_COMMAND)
90                 elif FAN_POWER_TYPE == 'rele':
91                     switch_rele(RELE_FAN, 'on')
92             elif i == 'speaker':
93                 mixer.music.unpause()
94
95     if isPaused:
96         continue
97
98     if arrtmp[0] == 'fan':
99         if arrtmp[1] == 'on':
100             if FAN_POWER_TYPE == 'ir':
101                 os.system(FAN_POWER_COMMAND)
102             elif FAN_POWER_TYPE == 'rele':
103                 switch_rele(RELE_FAN, 'on')
104
105             if 'fan' not in comandos:
106                 comandos.append('fan')
107             print('start fan')
108
109         if arrtmp[1] == 'off':
110             if FAN_POWER_TYPE == 'ir':
111                 os.system(FAN_POWER_COMMAND)
112             elif FAN_POWER_TYPE == 'rele':
113                 switch_rele(RELE_FAN, 'off')
114
115             if 'fan' in comandos:
116                 comandos.remove('fan')
117             print('stop fan')
118
119     if arrtmp[0] == 'speaker':
120         arqTmp = "/home/pi/Desktop/" + arrtmp[2]
121         my_song = arqTmp

```

```

122
123     if arrtmp[1] == 'off':
124         mixer.music.fadeout(AUDIO_FADEOUT_TIME)
125         if 'speaker' in comandos:
126             comandos.remove('speaker')
127         print('stop speaker')
128     elif arrtmp[1] == 'on':
129         mixer.init()
130         mixer.music.load(my_song)
131         mixer.music.set_volume(sounds_volume[arrtmp[2]])
132         mixer.music.play()
133         if 'speaker' not in comandos:
134             comandos.append('speaker')
135         print('start speaker')
136
137     if arrtmp[0] == 'diffuser':
138         if arrtmp[1] == 'on':
139             os.system(DIFFUSER_POWER_COMMAND)
140             if 'diffuser' not in comandos:
141                 comandos.append('diffuser')
142             print('start diffuser')
143
144         if arrtmp[1] == 'off':
145             os.system(DIFFUSER_POWER_COMMAND)
146             if 'diffuser' in comandos:
147                 comandos.remove('diffuser')
148             print('stop diffuser')
149
150     sys.stdout.flush()
151 conn.close()

```

Listing C.1: Código-fonte do controlador server-side desenvolvido para receber os comandos a partir do aplicativo MulseBook e iniciar ou interromper um efeito multissensorial.

## Apêndice D XML Schema - Anotação dos efeitos multissensoriais

```
1 <?xml version="1.0"?>
2 <xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
3
4 <xs:element name="AudioBook">
5   <xs:complexType>
6     <xs:sequence>
7       <xs:element name="Signal">
8         <xs:complexType>
9           <xs:sequence>
10            <xs:element name="Device" type="xs:string" />
11            <xs:element name="State" type="xs:string" />
12            <xs:element name="Source" type="xs:string" />
13            <xs:element name="Time" type="xs:time" />
14          </xs:sequence>
15        </xs:complexType>
16      </xs:element>
17    </xs:sequence>
18  </xs:complexType>
19 </xs:element>
```

## Apêndice E Resultados do Scanner de Acessibilidade do Google

A lista a seguir contém oportunidades de melhoria na acessibilidade no aplicativo MulseBook Audio:

1. Contraste do texto - com.example.mulsebookaudio:id/textView

A taxa de contraste do texto no item é 4,31. Essa taxa baseia-se em uma estimativa da cor do primeiro plano 666666 e da cor de fundo DFDFDF. Use cores que resultam em uma taxa de contraste maior que 4,50 para textos pequenos ou 3,00 para textos grandes. Este item pode estar coberto por outro conteúdo na tela. Considere testar manualmente o contraste deste item.

2. Contraste do texto - com.example.mulsebookaudio:id/textView2

A taxa de contraste do texto no item é 4,31. Essa taxa baseia-se em uma estimativa da cor do primeiro plano 666666 e da cor de fundo DFDFDF. Use cores que resultam em uma taxa de contraste maior que 4,50 para textos pequenos ou 3,00 para textos grandes.

3. Contraste do texto - com.example.mulsebookaudio:id/textView3

A taxa de contraste do texto no item é 4,31. Essa taxa baseia-se em uma estimativa da cor do primeiro plano 666666 e da cor de fundo DFDFDF. Use cores que resultam em uma taxa de contraste maior que 4,50 para textos pequenos ou 3,00 para textos grandes.

4. Descrições de itens - com.example.mulsebookaudio:id/button\_cida\_dao

*O texto falado deste item clicável : "OUVIR" é idêntico a outros 1 itens.*

5. Rótulo do item - com.example.mulsebookaudio:id/seekBar

O rótulo deste item pode não ser lido por leitores de tela.

6. Contraste do texto - com.example.mulsebookaudio:id/textView7

A taxa de contraste do texto no item é 4,31. Essa taxa baseia-se em uma estimativa da cor do primeiro plano 666666 e da cor de fundo DFDFDF. Use cores que resultam em uma taxa de contraste maior que 4,50 para textos pequenos ou 3,00 para textos grandes.

7. Contraste do texto - com.example.mulsebookaudio:id/textView8

A taxa de contraste do texto no item é 4,31. Essa taxa baseia-se em uma estimativa da cor do primeiro plano 666666 e da cor de fundo DFDFDF. Use cores que resultam em uma taxa de contraste maior que 4,50 para textos pequenos ou 3,00 para textos grandes.

8. Contraste do texto - com.example.mulsebookaudio:id/textView11

A taxa de contraste do texto no item é 4,31. Essa taxa baseia-se em uma estimativa da cor do primeiro plano 666666 e da cor de fundo DFDFDF. Use cores que resultam em uma taxa de contraste maior que 4,50 para textos pequenos ou 3,00 para textos grandes.

9. Contraste do texto - com.example.mulsebookaudio:id/progressTime

A taxa de contraste do texto no item é 4,31. Essa taxa baseia-se em uma estimativa da cor do primeiro plano 666666 e da cor de fundo DFDFDF. Use cores que resultam em uma taxa de contraste maior que 4,50 para textos pequenos ou 3,00 para textos grandes.

10. Contraste do texto - com.example.mulsebookaudio:id/totalTime

A taxa de contraste do texto no item é 4,31. Essa taxa baseia-se em uma estimativa da cor do primeiro plano 666666 e da cor de fundo DFDFDF. Use cores que resultam em uma taxa de contraste maior que 4,50 para textos pequenos ou 3,00 para textos grandes.

## Apêndice F Resultados do Scanner de Acessibilidade do Google após a aplicação das melhorias

A lista a seguir contém oportunidades de melhoria na acessibilidade no aplicativo MulseBook Audio:

1. Contraste do texto - com.example.mulsebookaudio:id/textView  
Modifique LayoutParams para permitir a expansão de texto.
2. Contraste do texto - com.example.mulsebookaudio:id/textView2  
Modifique LayoutParams para permitir a expansão de texto.
3. Contraste do texto - com.example.mulsebookaudio:id/textView3  
Modifique LayoutParams para permitir a expansão de texto.
4. Descrições de itens - com.example.mulsebookaudio:id/button\_cida\_dao  
*Modifique LayoutParams para permitir a expansão de texto.*
5. Contraste do texto - com.example.mulsebookaudio:id/textView7  
Modifique LayoutParams para permitir a expansão de texto.
6. Contraste do texto - com.example.mulsebookaudio:id/textView8  
Modifique LayoutParams para permitir a expansão de texto.

## Apêndice G Questionário de Avaliação da Qualidade de Experiência (QoE)

1. O tamanho das fontes utilizadas no aplicativo é legível pelo leitor de tela (Talkback)?



2. Os botões de passagem estão bem posicionados?



3. Eu consigo compreender as funções do aplicativo?



4. Os efeitos estão sincronizados à leitura?



5. A quantidade de efeitos multissensoriais é adequada?



6. Os efeitos são compatíveis com a história?



7. De um modo geral, posso permanecer concentrado no audiolivro.



8. Eu não percebi o tempo passando enquanto estava escutando o audiolivro.



9. Eu fiquei sem saber o que acontecia ao meu redor enquanto escutava o audiolivro.



10. O audiolivro usado me deixou imerso.



11. Eu me senti emocionalmente envolvido com o audiolivro.



## Apêndice H Questionário de Avaliação da Escala de Usabilidade do Sistema (SUS)

1. Eu acho que gostaria de usar o MulseBook Audio com frequência.



2. Eu acho o MulseBook Audio mais complexo que o necessário.



3. Eu achei o MulseBook Audio fácil de usar.



4. Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o MulseBook Audio.



5. Eu acho que as várias funções do MulseBook Audio estão muito bem integradas.



6. Eu acho que o MulseBook Audio apresenta muita inconsistência.



7. Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar o MulseBook Audio rapidamente.



8. Eu achei o MulseBook Audio complicado de usar.



9. Eu me senti confiante ao usar o MulseBook Audio.



10. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o MulseBook Audio.

