

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DOUTORADO EM ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

ALBINO SZESZ JUNIOR

**MATH2TEXT: FERRAMENTA TECNOLÓGICA PARA
ACESSIBILIDADE DE ESTUDANTES CEGOS A EXPRESSÕES
MATEMÁTICAS**

TESE

PONTA GROSSA - PR

2021

ALBINO SZESZ JUNIOR

**MATH2TEXT: FERRAMENTA TECNOLÓGICA PARA
ACESSIBILIDADE DE ESTUDANTES CEGOS A EXPRESSÕES
MATEMÁTICAS**

**MATH2TEXT: technological tool for blind students' accessibility to
mathematical expressions.**

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciência e Tecnologia, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a Dr^a Sani de Carvalho Rutz da Silva

Co-orientadora: Prof^a Dr^a Lucia Virginia Mamcasz Viginheski

PONTA GROSSA - PR

2021



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



ALBINO SZESZ JUNIOR

MATH2TEXT: FERRAMENTA TECNOLÓGICA PARA ACESSIBILIDADE DE ESTUDANTES CEGOS A EXPRESSÕES MATEMÁTICAS

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Ensino De Ciência E Tecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Ciência, Tecnologia E Ensino.

Data de aprovação: 24 de Maio de 2021

Prof.a Sani De Carvalho Rutz Da Silva, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Andre Luis Trevisan, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Cicera Aparecida Lima Malheiro, Doutorado - Universidade Federal de São Paulo (Unifesp)

Prof Marcelo De Carvalho Borba, Doutorado - Universidade Estadual Paulista - Unesp

Prof Marcelo Souza Motta, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 04/07/2021.

Dedico este trabalho aos meus pais Albino (in memoriam) e Joseliane (in memoriam), e à minha irmã Anna Luiza, com todo o amor e gratidão, por sempre me apoiarem, insistirem e incentivarem aos estudos durante toda esta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo, que é DEUS, pela vida e a possibilidade de empreender esse caminho evolutivo, por propiciar tantas oportunidades e por colocar em meu caminho pessoas amigas e preciosas.

Aos meus pais, Albino Szesz(*in memorian*) e Joseliane de Fátima Szesz(*in memorian*), em especial à minha mãe Joseliane, a qual infelizmente perdi no meio desta jornada, mas nunca deixou de apoiar e incentivar, vivenciando tudo de perto, seja no plano físico ou espiritual, sendo compreensível e sempre dando o suporte necessário para que fosse possível chegar até aqui. Meu muito obrigado por tudo mãe, essa conquista é nossa!

Aos meus irmãos, Anna Luiza Szesz e Arrison Szesz, em especial à minha irmã Anna Luiza, que assim como eu, escolheu o caminho dos estudos, compartilhando diariamente todas as vitórias e derrotas que essa escolha nos proporciona, não tenho dúvidas que seu apoio foi fundamental. Tenho certeza de que realizamos a escolha correta.

Aos meus amigos de sempre, por tudo que passamos juntos, alegrias e tristezas. Obrigado por estarem ao meu lado, apoiando e compreendendo os muitos momentos em que abdiquei de passar um tempo com vocês para atingir meu objetivo.

Aos amigos adquiridos no mundo acadêmico, um obrigado especial à minha turma de Doutorado e aos amigos “Berssa” e Débora, pelos vários momentos de apoio, desabafo, estudos e descontração partilhados juntos.

Ao amigo que se tornou sócio e entusiasta de todas as minhas invenções e ideias, Prof. Luiz Pedro Petroski, muito obrigado por ter acreditado na ideia da nossa empresa, a PiSigma Soluções em Tecnologia, e ter me apoiado, nas muitas vezes, que precisei focar e me dedicar ao Doutorado.

Aos Irmãos que encontrei nos últimos anos, os quais preencheram uma lacuna em minha vida, proporcionando dignos exemplos de homens justos e de bons costumes que me fazem seguir pelo caminho correto.

À minha orientadora Prof.^a. Dr.^a Sani de Carvalho Rutz da Silva e coorientadora Prof.^a. Dr.^a Lúcia Virginia Mamcasz Viginheski pela compreensão, dedicação e incentivo, vocês são as grandes responsáveis por essa conquista, sempre serei grato por toda a ajuda que recebi.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela oportunidade de realizar um Doutorado e todos os ensinamentos, sem esmorecimento e a todos os professores e colegas que fizeram parte desse caminhar.

Aos professores Doutora Cícera Aparecida Lima Malheiro, Doutor André Luís Trevisan, Doutor Marcelo de Carvalho Borba e Doutor Antonio Carlos de Francisco, pelas contribuições dadas na banca de qualificação, as quais enriqueceram esta pesquisa.

Aos Professores Dierone César Foltran Júnior e Maria Salete Marcon Gomes Vaz, por, em 2009, terem acreditado no meu potencial, incentivado e me mostrado o mundo acadêmico.

À direção e equipe pedagógica da APADEVI-Associação dos Pais e Amigos do Deficientes Visuais de Ponta Grossa-PR e Guarapuava-PR, por permitirem o desenvolvimento desta pesquisa, e por toda a atenção dedicada no período da sua realização.

A todos os estudantes que participaram desta pesquisa, por me concederem a oportunidade de aprender muito com eles, me permitindo evoluir como pessoa e ser humano.

As oportunidades profissionais me oferecidas, à Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG e seu Departamento de Informática - DEINFO e Núcleo de Tecnologia e Educação a Distância - NUTEAD, por viabilizarem a minha continuidade durante o tempo dedicado ao doutorado, sempre me apoiando e incentivando. Em especial aos colegas de trabalho e as pessoas que coordenaram e chefiaram esses setores neste período.

A todos que, de uma forma ou outra, contribuíram para a realização desta pesquisa, meu muito obrigado!

A única maneira de se definir o limite do possível é ir além dele, para o impossível.

Arthur C. Clarke (1917-2008)

RESUMO

SZESZ JUNIOR, Albino. **Math2text**: ferramenta tecnológica para acessibilidade de estudantes cegos a expressões matemáticas. 2021. 147f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciência e Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021.

O avanço tecnológico permite gerar, todos os dias, uma quantidade significativa de informações e aplicações nas mais diversas áreas do conhecimento, as quais, entretanto, não alcançam todas as pessoas da mesma maneira, como no caso das pessoas com deficiências e, em especial, a pessoa cega. Nesse contexto, no ensino inclusivo, com a busca de tecnologias assistivas que auxiliem o professor na inclusão das pessoas com deficiência, mediando o ensino, constatam-se problemas para o ensino da matemática por meio do computador, tais como a leitura de forma fragmentada das notações matemáticas por parte dos leitores de tela, a dificuldade para o aluno cego de interpretar as informações, a dificuldade em desenvolver uma ferramenta para este fim, entre outros. Essas dificuldades relacionam-se com a interdisciplinaridade, o que demanda haver um aporte na área de ensino e engenharia de software, compreender a função essencial do professor, além das especificações do desenho universal, do design, da usabilidade e da acessibilidade, visando alcançar o máximo de pessoas possíveis, independentemente se possuem deficiência declarada ou não. Assim, o objetivo desta pesquisa foi conceber uma ferramenta tecnológica assistiva que possibilite aos alunos cegos o acesso à linguagem matemática por meio do computador, associado aos leitores de tela. Para isso, realizou-se uma pesquisa de natureza aplicada, com uma abordagem qualitativa, orientada pela Design Science Research (DSR), criando-se um artefato denominado Math2Text, utilizando-se para seu desenvolvimento as premissas da Engenharia de Software, através do Modelo V, com as etapas de Análise de Requisitos, Projeto do Sistema, Projeto do Programa, Codificação e os respectivos testes. Essas etapas ocorreram em conjunto com as etapas do Design Centrado no Usuário (DCU), gerando dois ciclos de desenvolvimento com coleta e análise de dados, através da realização de testes de aceitação, com observação de tarefas e entrevistas informais com os usuários, focando em sua funcionalidade e utilização como ferramenta mediadora do ensino de matemática, aplicados em momentos, grupos e instituições distintas, um em cada ciclo de desenvolvimento pautado no DCU e no DSR. O primeiro ciclo gerou uma ferramenta para criação de material digital acessível, possibilitando que professores possam, através de uma interface, gerar expressões matemáticas em formato acessível; o segundo ciclo automatizou o processo de identificação e interpretação de expressões matemáticas em formato MathML a partir do navegador, com o auxílio do leitor de tela. Ao fim da pesquisa, o Math2Text foi disponibilizado em formato aberto, software livre, em um portal da internet com todas as orientações para acesso, colaboração, instalação e utilização, através de repositório público de software e extensão para o navegador Google Chrome. Desse modo, a pesquisa realizada possibilitou pensar no ensino inclusivo da matemática, bem como criar tecnologias, utilizando-se modelos de desenvolvimento de software centrados nos usuários com a mediação no ensino, criando-se, assim, uma tecnologia assistiva mediadora para ensino da matemática para pessoas com deficiência visual, concluindo-se que a problemática apresentada foi resolvida, bem como o alcance dos seus objetivos.

Palavras-chave: Ensino. Tecnologia Assistiva. Inclusão. Deficiência visual. Software.

ABSTRACT

SZESZ JUNIOR, Albino **MATH2TEXT**: technological tool for blind students' accessibility to mathematical expressions. 2021. 147f. Thesis (Doctorate in Science and Technology Teaching) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2021.

Technological advances make it possible to generate, every day, a huge amount of information and applications in the most diverse areas of knowledge. However, these information and applications do not reach all people in the same way, as in the case of people with disabilities and, in especially, the blind community. In this context, inclusive education seeking assistive technologies that assist the teacher in the inclusion of people with disabilities, mediating teaching, there are problems for the teaching of mathematics through the computer, such as the fragmented reading of mathematical notation on the part of screen readers, the difficulty for the blind student to interpret the information, the difficulty in developing a tool for this purpose, among others. These difficulties are related to interdisciplinarity, needing to have a contribution in the area of teaching and software engineering, understanding the essential function of the teacher in addition to the specifications of universal design, design, usability and accessibility, aiming to reach the maximum number of people possible, regardless of whether they have a declared disability or not. Thus, the objective of this research was to design an assistive tool that allows blind students to access mathematical language through the computer, associated with screen readers. For that, an applied nature research was carried out, with a qualitative approach, guided by Design Science Research (DSR), creating an artifact called Math2Text used for its development the premises of Software Engineering, through Model V with the stages of Analysis Requirements, System Design, Program Design, Coding and the respective tests. These steps occurred in conjunction with the User-Centered Design (DCU) steps, generating two development cycles with data collection and analysis. Through acceptance tests, with observation of tasks and informal interviews with users, focusing on its functionality and use as a mediating tool in the teaching of mathematics, applied in different moments, groups and institutions, one in each development cycle based on the DCU and DSR. The first cycle generated a tool for creating accessible digital material, enabling teachers to, through an interface, generate mathematical expressions in accessible format. The second cycle automated the process of identifying and interpreting mathematical expressions in MathML format from the browser with the aid of the screen reader. At the end of the research, Math2Text was made available as a free and open software, on an internet portal with all guidelines for access, collaboration, installation and use, through a public software repository and extension for the Google Chrome browser. Thus, the research made it possible to think about inclusive mathematics teaching as well as creating technologies, using software development models centered on users with mediation in teaching, thus creating a mediating assistive technology for teaching mathematics to people with visual impairments. We conclude that the presented problem was solved, as well as the achievement of its objectives.

Keywords: Teaching. Assistive Technology. Inclusion. Visual impairment. Software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Interface do Audiomath	30
Figura 2 – Exemplo de exercício no 4Math	32
Figura 3 – Interface do usuário do Equation Wizard.....	33
Figura 4 – Procedimentos básicos de um computador.....	37
Figura 5 – Fases do modelo de Desenvolvimento Clássico	40
Figura 6 – Modelo de desenvolvimento V	41
Figura 7 – Exemplo de conteúdo textual estruturado em parágrafos no HTML	43
Figura 8 – Exemplo de conteúdo textual estruturado em parágrafos no HTML	44
Figura 9 – Exemplo de expressão matemática em MathML	46
Figura 10 – Respostas da pergunta "Which of the following is your primary desktop/laptop screen reader?"	74
Figura 11 – Respostas da pergunta "Qual leitor de tela você mais utiliza para computador / notebook?"	75
Figura 12 – Respostas da pergunta "When using your primary screen reader, which browser do you use most often?"	76
Figura 13 – Respostas da pergunta: "Qual navegador você mais utiliza no seu computador / notebook?"	77
Figura 14 – Caminho metodológico da pesquisa pautado no DSR.....	83
Figura 15 – Ciclo de Vida do desenvolvimento de software em Modelo V.....	85
Figura 16 – Modelo do fluxo do trabalho centrado no usuário utilizado na pesquisa.....	88
Figura 17 – Fluxo das etapas correspondentes do design centrado no usuário e ao ciclo de desenvolvimento de software no modelo V	89
Figura 18 – Exemplo de documentação de teste	92
Figura 19 – Arquitetura do Math2Text.....	97
Figura 20 – Modelagem do Ciclo 1 do Math2Text.....	101
Figura 21 – Tela Principal	102
Figura 22 – Exemplo de Saída – Fórmula de Bhaskara.....	103
Figura 23 – Exemplo de Saída - Quadrado da soma de dois termos.....	104
Figura 24 – Exemplo de Saída com arquivo em imagem e texto transcrito	105
Figura 25 – Percentual de usuários de softwares Navegadores Web.....	107
Figura 26 – Modelagem do Ciclo 2 do Math2Text.....	108
Figura 27 – Visualização do Navegador sem a extensão/plugin instalada.....	110
Figura 28 – Visualização do Navegador com a extensão/plugin instalada.....	111
Figura 29 – Caso de teste para o teste de aceitação do Ciclo 1 de desenvolvimento	114
Figura 30 – Expressões matemáticas apresentadas no Teste de Aceitação do Ciclo 1	115
Figura 31 – Grupo de alunos realizando o teste de aceitação do ciclo 2 em laboratório.....	118
Figura 32 – Expressões utilizadas no teste	122

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Instruções gerais para a condução/avaliação da <i>Design Science Research</i> (DSR).....	82
Quadro 2 –	Comparativo entre ferramentas computacionais matemáticas.	98
Quadro 3 –	Comparativo entre leituras de uma mesma expressão matemática.	100
Quadro 4 –	Caso de teste para o teste de aceitação do Ciclo 2 de desenvolvimento.	119
Quadro 5 –	Participantes da entrevista	124

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ADA	American with Disabilities Act
APADEVI	Associação dos Pais e Amigos do Deficientes Visuais
AVA	Ambientes Virtuais de Aprendizagem
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CIDH	International Classification of Impairments, Disabilities and Handicaps
CIDID	Classificação Internacional das Deficiências, Incapacidades e Desvantagens
CIF	Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DCU	Design Centrado no Usuário
DSR	Design Science Research
DU	Desenho Universal
DV	Deficiência Visual
EAD	Educação a distância
eMAG	Modelo de Acessibilidade do Governo Eletrônico
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IHC	Interface Humano Computador
JAWS	Job Access With Speech
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação
NUTEAD	Núcleo de Tecnologia e Educação Aberta e a Distância
NVDA	NonVisual Desktop Access
OMS	Organização Mundial da Saúde
PLACES	Plataforma de Acessibilidade da Universidade do Porto
PPGECT	Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia
PROENGEM	Engenharias com o Ensino Médio
TA	Tecnologia Assistiva
TD	Tecnologias Digitais
TDIC	Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação
TI	Tecnologias da Informação
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação

TTS	Text to Speech
UEPG	Universidade Estadual de Ponta Grossa
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNESP	Universidade Estadual Paulista
URL	Uniform Resource Locator
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
V&V	Verificação e Validação
W3C	World Wide Web Consortium
WAI	Iniciativa de Acessibilidade na Web
WCAG	Web Content Accessibility Guidelines

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO DA PESQUISA	15
1.1	A TRAJETÓRIA PROFISSIONAL E ACADÊMICA QUE APONTARAM CAMINHOS PARA ESTA PESQUISA	15
1.2	INTRODUÇÃO/CONTEXTUALIZAÇÃO/PROBLEMÁTICA.....	18
1.3	OBJETIVOS	25
1.3.1	Objetivo geral	25
1.3.2	Objetivos específicos.....	25
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	26
2	A ORIGINALIDADE E INEDITISMO DA PESQUISA A PARTIR DE ESTUDOS SIMILARES.....	28
3	CONCEITOS COMPUTACIONAIS RELEVANTES PARA O ENTENDIMENTO DESTA PESQUISA.....	36
4	A EDUCAÇÃO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA.....	48
4.1	CONCEITO DE DEFICIÊNCIA: HISTÓRICO E ASPECTOS LEGAIS	48
4.2	A DEFICIÊNCIA VISUAL.....	53
4.3	O CONCEITO DE COMPENSAÇÃO E MEDIAÇÃO NA TEORIA DE VIGOTSKI	54
5	DESIGN NA CONSTRUÇÃO DA TECNOLOGIA ASSISTIVA MATH2TEXT	58
5.1	DESENHO UNIVERSAL.....	58
5.2	CONCEITO DE ACESSIBILIDADE E USABILIDADE	60
5.3	METODOLOGIA DO DESIGN CENTRADO NO USUÁRIO (DCU).....	63
6	TECNOLOGIAS DIGITAIS E ASSISTIVAS: CARACTERÍSTICAS E EDUCAÇÃO MATEMÁTICA.....	65
6.1	AS FASES DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS E A EDUCAÇÃO MATEMÁTICA.....	65
6.2	TECNOLOGIA ASSISTIVA.....	67
6.2.1	Acessibilidade Virtual.....	70
6.2.2	Leitores de tela	72
6.3	PROPOSTAS DE ENSINO DE MATEMÁTICA PARA DEFICIENTES VISUAIS COM A UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS ASSISTIVAS	77
7	FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS QUE ORIENTARAM O DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA ASSISTIVA	81
7.1	RELEVÂNCIA DO PROBLEMA.....	84
7.2	ARTEFATO	84
7.3	PROCESSO DE BUSCA DA SOLUÇÃO	87
7.4	RIGOR DA PESQUISA.....	90

7.5	AVALIAÇÃO	90
7.6	CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA.....	94
7.7	COMUNICAÇÃO DA PESQUISA	94
8	RESULTADOS E DISCUSSÕES	95
8.1	RELEVÂNCIA DO PROBLEMA	95
8.2	O ARTEFATO E O PROCESSO DE BUSCA DA SOLUÇÃO	96
8.2.1	Ciclo 1	97
8.2.2	Ciclo 2	106
8.3	RIGOR DA PESQUISA.....	112
8.4	AVALIAÇÃO	113
8.5	CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA.....	128
8.6	COMUNICAÇÃO DA PESQUISA	129
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
	REFERÊNCIAS	135

1 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

1.1 A TRAJETÓRIA PROFISSIONAL E ACADÊMICA QUE APONTARAM CAMINHOS PARA ESTA PESQUISA

Certo dia, ouvi um termo judaico denominado de “*tzedacá*”, uma palavra muitas vezes erroneamente compreendida como “caridade”, porém ela não se trata disso, e sim do sentimento de satisfação provocado por uma boa ação. É a noção de que, ao fazer o bem a alguém, quem se beneficia é você. Junto com esse sentimento, somam-se minhas indagações, curiosidades, comprometimento, disciplina e os valores que meus pais me ensinaram enquanto eram vivos.

Esta soma de sentimentos sempre me guiou em minha trajetória profissional e acadêmica. Meus pais sempre prezaram pela educação, tanto em casa quanto pela busca por formação. Eles sempre diziam que era a única coisa que ninguém poderia nos tirar, e sempre nos proporcionaram todas as condições de estudo, tanto que eu e meus dois irmãos concluímos o Ensino Superior.

Minha história no Ensino Superior iniciou em 2008, ao ingressar no curso de Engenharia de Computação, na Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG (2008-2012). Neste período, me envolvi com o meio acadêmico, busquei projetos de extensão, iniciação científica e estágios para participar.

Nessa busca, encontrei o Programa Interação das Engenharias com o Ensino Médio - PROENGEM, um projeto de extensão da UEPG que objetivava divulgar as engenharias para o Ensino Médio público, a fim de trazer esses alunos para esta área. Neste projeto, tive meu primeiro contato com o ensino e comecei a gostar, pois palestrávamos sobre as aulas do curso de Engenharia para os alunos do Ensino Médio e comecei a entender o sentimento de ser professor, além de conviver e conhecer diversos professores. Aqui destaco os professores Dierone C. Foltran Jr. e Maria Salete Marcon Gomes Vaz, responsáveis pela seleção no projeto de extensão e, desde então, fundamentais na minha formação, a ponto de eu estar escrevendo uma tese de doutorado.

Esse envolvimento me fez entender o papel da universidade pública na sociedade e me motivou, fazendo com que eu realizasse, durante os cinco anos da graduação, três anos de extensão e dois anos de iniciação científica, além do meu ingresso no mercado de trabalho.

A necessidade de trabalhar ocorreu para ajudar a custear as despesas de casa e da universidade. Na época, estava no terceiro ano do curso e, para não parar o curso, minha orientadora, profa. Maria Salete mediou, junto à profa. Leide Mara Schmidt, um estágio remunerado no Núcleo de Tecnologia e Educação Aberta e a Distância - NUTEAD da UEPG.

No NUTEAD, tudo começou a fazer sentido e por essa experiência que cheguei até aqui. Lá trabalhei entre 2010 e 2019, tive contato com a educação a distância (EAD), entendi a função das tecnologias e compreendi como aplicar o que aprendia na Engenharia de Computação.

Durante todos esses anos, exerci diversas funções, como suporte técnico, diagramação de material para EAD, design instrucional, capacitação, web conferências, desenvolvimento de software, ambientes virtuais de aprendizagem, gestão, professor, dentre outras, ao mesmo tempo em que continuava meus estudos. Fiz vários cursos livres na área de educação e tecnologias, Mestrado em Computação Aplicada e Especialização em Mídias na Educação, concluindo os dois últimos em 2015.

Após o mestrado, comecei a ministrar aulas de computação no Ensino Superior, em São Miguel do Oeste – SC, dividindo a carga horária com o meu trabalho no NUTEAD, onde era responsável técnico pelo Ambiente Virtual de Aprendizagem, garantindo que todos acessassem e compreendessem os materiais e aulas ali disponibilizados.

Na época, fazíamos um trabalho para evitar a evasão no EAD, através de análise do desempenho dos alunos no Ambiente Virtual, então tivemos um caso de um aluno de Administração Pública – EAD que concluiu todas as disciplinas, com exceção da Matemática para administradores.

Ao entrarmos em contato com o aluno, ele relatou que não havia concluído a disciplina porque “não enxergava”. Em um primeiro momento, não entendi, e o fato, me gerou uma revolta, pois o material sempre esteve ali, disponível. Após entender e compreender, o aluno relatou que era cego e seu leitor de tela não conseguia ler nada naquela disciplina.

Aquilo me impactou de uma forma que eu não sei como explicar. Eu era responsável pelo acesso de TODOS, o que não estava acontecendo. Eu nunca havia me preocupado com acessibilidade virtual e não tinha conhecimento a respeito, então decidi estudar e me dedicar em resolver o problema. Parei de ministrar aulas fora da

cidade, dediquei meu tempo àquele novo objetivo. A profa. Eliane Rauski, coordenadora do NUTEAD na época, se sensibilizou, buscando ajuda junto ao Núcleo de acessibilidade da Universidade Estadual Paulista (UNESP), o qual já tinha uma experiência consolidada na área e trouxe os seus profissionais para um evento –, o 1º Simpósio de Acessibilidade na UEPG.

Assim, após o simpósio, em 60 dias alteramos todo o ambiente e o formato de trabalho da EAD. Implementamos livros em formato DAISY¹, alteramos toda a codificação e o layout do ambiente virtual, visando as métricas de acessibilidade virtual, bem como capacitamos todos os colaboradores no Modelo de Acessibilidade do Governo Eletrônico – eMAG.

Neste processo, descobri que ainda não havia algum recurso automatizado para a leitura de expressões matemáticas através do computador; então, buscamos uma solução “caseira”, a qual foi encontrada em parceria com Luiz Renato Bittencourt, professor de Matemática da EAD da UEPG. A solução foi gerar imagens de todas as equações e inserir uma descrição de imagem, que seriam as descrições textuais, que foram montadas pelo professor Luiz. Inserimos no ambiente virtual e teoricamente resolveu o problema, porém o processo foi muito oneroso e me fez continuar pensando sobre como otimizá-lo.

Após todas essas mudanças, publicamos em eventos, apresentamos na UEPG para outros colegas, motivamos muitas pessoas para pensarem sobre acessibilidade virtual. Neste processo, conheci a prof^a. Sani de Carvalho Rutz da Silva, minha orientadora, por intermédio do prof. Silvio Luiz Rutz da Silva, então apresentei-lhe a ideia da automatização das expressões matemáticas. Ela se empolgou e me motivou, assim, montamos um projeto e eu me candidatei ao doutorado, ingressando oficialmente em 2016, no Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) sob orientação da prof^a. Sani, a qual sempre me ajudou em todo o processo, construindo uma relação de troca de conhecimentos muito produtiva e enriquecedora para ambos.

Durante o doutorado, tive bastante dificuldade com a nova área, pois eram conhecimentos a que eu nunca havia tido acesso, porém persisti, concluí os créditos,

¹ O livro digital DAISY (*Digital Accessible Information System*), em uma tradução livre Sistema Digital de Informação Acessível, é um formato de arquivo, que faz com que o acesso à informação seja mais fácil às pessoas, beneficiando principalmente pessoas com deficiência visual. Os livros nesse formato (DTB – *Digital Talking Book*) podem ser lidos em voz sintética, voz gravada ou em texto.

continuei trabalhando e me especializando em tecnologias educacionais. Neste processo, Lucas Mendes, aluno de computação da UTFPR, me auxiliou muito através de sua Iniciação Científica, realizando suas pesquisas no desenvolvimento deste trabalho.

O processo também permitiu uma mudança da minha visão de mundo e a aproximação com os professores da educação especial e demais profissionais envolvidos, fato que me levou, por intermédio da prof^a. Sani, conhecer a prof^a. Lucia Virginia, com anos de experiência no ensino inclusivo, a qual me coorienta neste trabalho e também me auxiliou bastante em todo o processo.

Assim, todo o trabalho foi norteado pela ideia de tornar a linguagem matemática acessível aos estudantes cegos, por meio dos leitores de tela, a partir do cenário sobre o ensino de Matemática inclusivo, com auxílio das tecnologias digitais e a necessidade de se proporem diferentes metodologias e ferramentas para o ensino.

1.2 INTRODUÇÃO/CONTEXTUALIZAÇÃO/PROBLEMÁTICA

Os avanços no desenvolvimento das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) permitem gerar, todos os dias, uma grande quantidade de informações, assim como aplicações nas mais diversas áreas do conhecimento. Entretanto, essas informações e aplicações não chegam a todas as pessoas da mesma maneira, o que ocorre no caso das pessoas com deficiências e, em especial, com a pessoa com deficiência visual (DV).

Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS), a cegueira afeta aproximadamente 39 milhões de pessoas em todo o mundo, número que aumenta para 246 milhões considerando-se a perda moderada ou severa da visão (OTTAIANO *et al.*, 2019).

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apresentava, em 2010, ano em que foi realizado o último Censo, cerca de 23,9% da população total (45,6 milhões de pessoas) com algum tipo de deficiência, de natureza sensorial (surdez e deficiência visual), intelectual ou física-neuromotora. Destas, aproximadamente 4,7% (6,5 milhões de pessoas) possuem alguma deficiência visual (IBGE, 2010).

Em 2018, a OMS lançou uma nova Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde (CID 11), a qual entrará em vigor em

2022 e que estabelece quatro níveis de função visual: visão normal, deficiência visual moderada, deficiência visual grave e cegueira (OTTAIANO *et al.*, 2019).

Essa classificação baseia-se em escalas oftalmológicas como parâmetros para avaliar a deficiência visual: a acuidade visual (a capacidade de reconhecer determinado objeto a determinada distância) e campo visual (a amplitude da área alcançada pela visão). Assim, são consideradas cegas não apenas as pessoas que apresentam incapacidade total para ver, mas também todas aquelas nas quais o prejuízo da visão se encontra em níveis incapacitantes para o exercício de tarefas rotineiras, apesar de possuírem certos graus de visão residual (OTTAIANO *et al.*, 2019).

Neste sentido, Bonilla e colaboradores (2018) destacam que a distinção entre cegueira e baixa visão se baseia mais em critérios funcionais que em critérios médicos, sendo considerados indivíduos com baixa visão aqueles que, podendo inclusive ser considerados legalmente cegos, são capazes de utilizar o resíduo visual que possuem para executar tarefas do dia a dia, especialmente as de caráter escolar. Assim, os mesmos autores afirmam que, independentemente do grau, causa ou momento do aparecimento, é importante perceber que a deficiência visual não é um problema *per se* e que esses indivíduos têm potencial para um desenvolvimento considerado normal, a depender do ambiente físico e social no qual estejam inseridos.

Vigotski (1997) trabalhou a ideia de que a cegueira, assim como outras deficiências, pode proporcionar uma reorganização completa no funcionamento psíquico, possibilitando uma compensação do impedimento. Destacou que a questão da cegueira é meramente instrumental e, ao se proporcionarem formas alternativas de acesso às informações, inacessíveis a ele devido à ausência de visão, isso será contornado, tal como ocorre com o Sistema Braille, que permite ao cego o acesso à linguagem escrita.

Assim, as necessidades decorrentes de alguma limitação visual não devem ser ignoradas. Pessoas com alguma limitação visual terão dificuldades na aprendizagem se o professor não possuir uma atitude inclusiva e se não lhes forem disponibilizados recursos didáticos apropriados para que possam interpretar e aprender os conteúdos ensinados em sala de aula, adotando uma metodologia de ensino que lhes promova o acesso e a apropriação do conhecimento.

Neste sentido, Vigotski (1993), em seus estudos sobre defectologia, discute a ideia de compensação, não apenas como a substituição das funções fisiológicas do

órgão da visão pelo aumento no funcionamento e desenvolvimento de outros, mas como uma complexa reestruturação de toda atividade fisiológica, com exercício e adaptação; redirecionamento, com o auxílio da memória, associação e atenção. Ou seja, diante de uma anormalidade morfológica e funcional, o sistema nervoso central e todo aparato mental criam uma estrutura psicológica para compensar a função prejudicada.

Por exemplo, na aprendizagem dos conceitos matemáticos, o aluno cego tem a mesma capacidade que os alunos que enxergam, considerados neste trabalho como videntes. Inclusive muitos deles apresentam maior desenvolvimento da memória, fato explicado pela teoria de compensação de Vigotski (1998).

Essa teoria explica a capacidade de fazer uso de outros canais de recepção e armazenamento das informações, como a memória, por exemplo, como meio de compensação de sua deficiência. Destaca-se, porém, que memória não é sinônimo de aprendizagem. Ela é uma das funções psicológicas superiores necessárias, tal como consciência, percepção, atenção, fala, pensamento, vontade, formação de conceitos e emoção, se intercambiando e relacionando entre si, para que aconteça, de fato, a aprendizagem.

Ainda nesse sentido, Vigotski (1998) também indica que todo sujeito se apropria dos conhecimentos a partir de relações interpessoais, de troca com o meio e, por isto, é chamado de ser interativo. Ele também afirma que aquilo que aparece individual na pessoa é, na verdade, resultado da construção da sua relação com o outro, um outro coletivo que veicula a cultura. Na verdade, o desenvolvimento total do ser humano depende das experiências e das aprendizagens que desenvolve um determinado grupo cultural. As características e atitudes individuais estão profundamente impregnadas das trocas com o coletivo, e as funções psicológicas superiores são socialmente formadas e culturalmente transmitidas por meio da linguagem.

Assim, é necessária uma atitude inclusiva do professor, sendo fundamental sua atuação como mediador do conhecimento, interagindo com os alunos e incentivando a troca de conhecimentos e experiências com o meio. As relações estabelecidas no processo de ensino e aprendizagem podem ser suportadas por recursos didáticos para o aprendizado dos conceitos ensinados pelos estudantes com deficiência. Por exemplo, no ensino de Matemática, podem ser utilizados materiais

manipuláveis, facilitando a compreensão dos conceitos, inclusive pelos alunos que têm visão (CONCEIÇÃO *et al.*, 2014).

Entre os recursos que podem ser utilizados no ensino para estudantes com deficiência visual, destacam-se os recursos ópticos e materiais didáticos adaptados, desde os mais tradicionais (óculos bifocais e monofocais, lupas, reglete, sorobã, régua para escrita cursiva, máquina Perkins para escrita em braile, dentre outros), até os mais avançados (calculadoras e relógios que falam, etiquetas com gravação de áudio, identificador de notas de dinheiro e de cores, dentre outros) (BONILLA *et al.*, 2018).

Com o avanço das tecnologias através do computador e da internet, esses recursos tiveram um impulso maior, possibilitando que as pessoas com deficiência visual utilizem: teclados com letra ampliada e contraste, software para ajuste de cores e tamanho das informações (efeito lupa), software leitores de tela, softwares de reconhecimento de voz, softwares leitores de texto impresso (OCR), software para impressão aumentada, impressora braile, impressão em relevo, linha braile, dentre outros (BONILLA *et al.*, 2018).

Esses recursos fazem parte da área de Tecnologia Assistiva (TA), que se constituem como uma área do conhecimento de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (W3C BRASIL, 2013).

Bersch (2017) considera que o termo TA é utilizado para identificar todo um conjunto de recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência e, conseqüentemente, promover vida independente e inclusão, conceito que se complementa pela visão de Radabaugh (1993), segundo a qual as TA tornam, para as pessoas sem deficiência, as coisas mais fáceis e, para as pessoas com deficiência, tornam as coisas possíveis.

No desenvolvimento das TA, é importante a utilização de premissas como a do Desenho Universal (DU), acessibilidade, usabilidade, dentre outras, as quais buscam garantir o acesso para todos.

Galvão Filho (2009, p.144) afirma que o conceito de DU é importante para a discussão e criação de TA, pois “devem ser concebidas, projetadas, com vistas à participação, utilização e acesso de todas as pessoas”.

Retomando a afirmação de Radabaugh (1993) sobre tecnologias para pessoas sem deficiência, pode-se destacar a aprendizagem personalizada, a qual se destina a atender as necessidades de aprendizagem específicas, interesses, aspirações ou origens culturais de cada aluno, independentemente de limitação declarada (JOHNSON *et al.*, 2014).

Segundo estudo realizado pela NMC Horizon Report (2015), que examina as tecnologias pelo seu potencial, impacto no ensino, aprendizado e investigação criativa nas escolas, a aprendizagem personalizada seria um desafio difícil para ser resolvido, em que as possíveis soluções seriam avanços em ambientes de aprendizagem online e tecnologias de aprendizagem adaptativa, a fim de automatizar os processos do caminho de aprendizagem individual do aluno (JOHNSON *et al.*, 2015).

A mesma entidade, em relatório mais recente, de 2019, ainda considera um desafio difícil de ser resolvido e discute meios para atingi-lo, tais como a criação de novos modelos educacionais, uso de material didático adaptável, caminhos de aprendizado personalizados e soluções de tutoria digital (ALEXANDER *et al.*, 2019). Vale destacar que é considerado um desafio difícil, pois os modelos atuais possuem muitas características mecânicas, não indo ao encontro de modelos dinâmicos e que desenvolvam as funções psicológicas superiores, tal como Vigostski (1998) discute e propõe.

Na busca desse ensino personalizado, fazendo uso de materiais modificados que promovam a inclusão das pessoas com deficiência, insere-se a EAD e as tecnologias digitais como um canal de inclusão, personalização e ferramenta facilitadora no processo de ensino-aprendizagem. O uso dessas tecnologias gera possibilidades para a formação de professores, bem como aumenta os recursos para a personalização do ensino de todos, favorecendo as pessoas com deficiência visual a estudarem, interagirem, aperfeiçoarem-se, capacitarem-se e, acima de tudo, sentirem-se inseridos no contexto educacional em que vivem.

A EAD torna-se um cenário para a efetivação da inclusão, pois utiliza as mídias digitais como canal de propagação, minimizando barreiras de acesso, principalmente as geográficas. No entanto, ela ainda tem sido incipiente em promover a inclusão de alunos com deficiência e a interação entre eles, possivelmente pelas estratégias de ensino, ou mesmo pela padronização dos ambientes adotados (PIVETTA; SAITO; ULBRICHT, 2014).

A partir dessa relação do EAD, é necessário contextualizar o panorama mundial em que esta pesquisa foi finalizada, em meio a pandemia da COVID-19, a qual impactou diversas áreas, dentre elas a educação, necessitando se aproveitar das experiências da EAD na educação como forma de minimizar os impactos educacionais (SILVA; NETO; SANTOS, 2020).

Alguns autores (SILVA; NETO; SANTOS, 2020; SANTANA; BORGES SALAS, 2020; SOUZA; VIEIRA, 2020) discutem a utilização de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) na educação a partir da experiência da EAD, considerando que só foi possível dar continuidade ao processo de ensino, neste tempo de pandemia, através da mediação por tecnologias.

Neste ensino mediado pelas TDIC, levantam-se problemas para o ensino da Matemática por meio do computador e ambientes virtuais de aprendizagem (AVA), tais como a leitura de forma fragmentada das notações matemáticas por parte dos leitores de tela, a dificuldade para o aluno cego interpretar as informações, a dificuldade em desenvolver uma ferramenta para este fim, entre outras.

Essa dificuldade tem relação com a necessidade de desenvolvimento de tecnologias específicas e interdisciplinares, que unam as características técnicas necessárias, tal como a compatibilidade dos leitores de tela, interoperabilidade, adaptabilidade, correta identificação dos caracteres matemáticos, além do entendimento de como ocorre o ensino da matemática.

Os pesquisadores Agnieszka Bier e Zdzisław Sroczyński (2019) corroboram isso ao alertarem para os problemas que podem surgir em função de se projetar uma ferramenta precisa para tradução automática de notação matemática, haja vista a linguagem matemática se constituir por uma variedade de símbolos, gráficos e diagramas, dificultando a apresentação linear e a correta interpretação pelos leitores de tela.

Questões interdisciplinares também são levantadas por outros autores (SPINCZYK *et al.*, 2019), que destacam a questão da verbalização da notação matemática, a qual consideram importante para manter a precisão e compreensão para o público, bem como a adaptabilidade ao contexto, idioma ou assunto específico.

Assim, torna-se necessário desenvolver recursos de tecnologia que possibilitem essa compreensão e adaptabilidade, adquiridos ou produzidos, segundo a perspectiva de mediação de Vigotski (1999), se tornam instrumentos de mediação no processo de ensino e aprendizagem. Para o autor, a aprendizagem mediada se dá

através da interação entre o ser humano, o ambiente e o objeto de conhecimento, existindo nessa interação dois tipos de elementos mediadores: os instrumentos e os signos (VIGOTSKI, 1998).

Os instrumentos são utilizados pelo trabalhador, materiais físicos que ampliam as possibilidades de transformar a natureza, um objeto social, por exemplo os instrumentos utilizados pelos professores em sala de aula: vídeos, slides, equipamentos laboratoriais, entre outros (VIGOTSKI, 1998).

Já os signos, em específico, constituem-se de representações mentais que substituem objetos do mundo real, a exemplo dos algarismos, os quais possibilitam a representação de quantidades infinitas, sem serem necessários objetos para representá-las (VIGOTSKI, 1998). Assim, Vigotski (1998) diz que o desenvolvimento dessas representações se dá, sobretudo, pelas interações, que levam ao aprendizado.

A partir dessas considerações iniciais, é possível refletir sobre o processo de inclusão de alunos com deficiência visual na escola regular, tanto na modalidade presencial como na modalidade EAD, no ensino mediado pelas tecnologias digitais, e a acessibilidade deles no ensino da matemática, bem como o avanço das tecnologias digitais, a personalização da aprendizagem para todos os alunos e as atitudes inclusivas dos professores.

Porém, neste ponto, é importante retomar a reflexão sobre o contexto pandêmico em que esta pesquisa foi encerrada, forçando professores e instituições de Ensino de todos os níveis a adentrarem no ensino remoto e na utilização de tecnologias como suporte ao ensino.

Assim, alguns autores (FREIRE *et al.*, 2020; BAO, 2020; CASTAMAN; RODRIGUES, 2020) relatam, em trabalhos recentes, a dificuldade na utilização das tecnologias, disponibilidade de infraestrutura adequada, adaptação do currículo e de estratégias pedagógicas, além da questão de acessibilidade digital e do acesso da pessoa com deficiência em ambientes virtuais.

Logo, evidencia-se a necessidade de as pessoas envolvidas com a educação estarem atentas aos acontecimentos dentro da escola e dispostas também a aceitar sugestões e mudanças para melhorar o aprendizado do aluno com deficiência. Cabe ao professor a tarefa de incluir o aluno em sua classe, por meio de uma atitude inclusiva, adaptando as atividades conforme as necessidades de cada aluno.

É necessário, além disso, se pensar sobre as tecnologias a serem utilizadas, bem como a formação dos professores para o seu uso no processo de ensino, para que, dessa forma, possam utilizá-las de maneira mais eficiente e adequada, além de proporcionar alternativas a todos os alunos. Por exemplo, um livro em formato MP3, áudio book, que, além do seu uso pela pessoa com deficiência visual, também pode ser uma alternativa para o ensino ao aluno que possui outros estilos de aprendizagem, tal como aprender ouvindo.

A partir do exposto, levanta-se o seguinte problema de pesquisa: *Como uma ferramenta tecnológica assistiva pode ser concebida de forma a suprir as lacunas existentes em outros recursos utilizados pelos alunos cegos, como leitores de tela e softwares, para acessar a linguagem matemática em computadores?*

A fim de solucionar esse problema, pretende-se com a pesquisa aqui apresentada conceber uma Tecnologia Assistiva, o Math2Text, que possibilite aos alunos cegos o acesso à linguagem matemática por meio do computador, associado aos leitores de tela.

A partir disso, espera-se promover mudanças qualitativas no processo de ensino e aprendizagem de Matemática para esses alunos, contribuindo para a sua inclusão no meio educacional e instrumentalizando os professores com recursos para o ensino inclusivo de matemática, assim como incentivando-os na produção de materiais acessíveis.

Com base nessa orientação foram traçados os objetivos da pesquisa.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Conceber o Math2Text, uma Tecnologia Assistiva que possibilite aos alunos cegos o acesso a expressões matemáticas por meio do computador, associado aos leitores de tela.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar lacunas no desenvolvimento e utilização de Tecnologia Assistiva no ensino inclusivo da matemática;

- Propor estratégias para elaboração de material didático acessível, utilizando ferramentas da Tecnologia Assistiva como meio facilitador;
- Desenvolver a Tecnologia Assistiva Math2Text a partir de uma metodologia centrada nos usuários (alunos e professores) e focada na solução do problema apresentado;
- Validar considerando os critérios de desenvolvimento de software e na resolução da problemática apresentada;
- Avaliar as potencialidades e limitações nas perspectivas dos usuários (alunos e professores);
- Divulgar e disponibilizar a Tecnologia Assistiva Math2Text.

Para atender os objetivos, a abordagem de pesquisa utilizada foi a *Design Science Research* (DSR), que possibilitou orientar a pesquisa no desenvolvimento de algo novo, com a criação do artefato denominado Math2Text. Por meio da utilização de premissas da Engenharia de Software por meio do Modelo de Desenvolvimento em V e das etapas do Design Centrado no Usuário (DCU). Este processo gerou dois ciclos de desenvolvimento com coleta e análise de dados, através da realização de testes de aceitação, com observação de tarefas e entrevistas informais com os usuários (alunos com deficiência visual e professores), focando em sua funcionalidade e utilização como ferramenta mediadora do ensino de matemática, aplicados em dois momentos, grupos e instituições distintas.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Tendo em vista o exposto, com o propósito de responder à problemática apresentada e atingir os objetivos propostos, o trabalho foi estruturado da seguinte forma: neste primeiro capítulo, foi apresentado o problema e sua contextualização, além dos objetivos a serem atingidos.

No Capítulo 2, serão apresentados estudos relacionados ao objetivo desta pesquisa, a fim de constatar sua originalidade e ineditismo, além de compreender outras iniciativas que estão sendo desenvolvidas ao redor do mundo.

No Capítulo 3, apresentam-se alguns conceitos computacionais, a fim de inteirar todos os leitores deste trabalho sobre alguns termos e aspectos importantes para o bom entendimento do trabalho, visto que o público-alvo é da área de educação e ensino.

No Capítulo 4, serão apresentadas questões relativas à educação de pessoas com deficiência, abordando-se as concepções e o contexto histórico e legal da deficiência e da deficiência visual, além da teoria de mediação e compensação proposta por Vigotski

No Capítulo 5, são abordados os conceitos inerentes ao design da tecnologia assistiva Math2Text, pautados no DU, acessibilidade, usabilidade e no desenvolvimento centrado no usuário.

No Capítulo 6, são caracterizadas e categorizadas as tecnologias digitais e a área de tecnologia assistiva, além de se apresentarem propostas de ensino de Matemática para deficientes visuais, com o uso de diferentes recursos da tecnologia assistiva.

No Capítulo 7, apresentam-se os caminhos metodológicos no desenvolvimento da tecnologia assistiva Math2Text pautadas pelo *Design Science Research* e suas etapas.

No Capítulo 8, são apresentados e discutidos os resultados, coletas de dados e análises ocorridas no desenvolvimento e validação da tecnologia assistiva Math2Text.

No Capítulo 9, apresentam-se as considerações finais sobre a pesquisa desenvolvida, as limitações do estudo, as dificuldades e as perspectivas de trabalhos futuros.

2 A ORIGINALIDADE E INEDITISMO DA PESQUISA A PARTIR DE ESTUDOS SIMILARES

Este capítulo baseou-se em um levantamento narrativo, realizando-se uma busca bibliográfica em repositórios e bases científicas multidisciplinares, realizando a análise dos trabalhos e de suas referências, a fim de se constatar a originalidade e o ineditismo desta pesquisa, bem como munir o pesquisador com a fundamentação teórica e estratégias já utilizadas para buscar a resolução da problemática levantada.

Assim, a pesquisa iniciou da premissa que a notação matemática é baseada em uma variedade de símbolos, gráficos e diagramas que normalmente descrevem objetos abstratos que são impossíveis de se apresentar de forma linear, sem o uso de vários parênteses. Essa não linearidade é o principal desafio ao se projetar uma ferramenta para a tradução automática de notação matemática (BIER; SROCZYŃSKI, 2015, 2019; BIER, SPINCZYK *et al.*, 2019).

Além disso, a verbalização da notação matemática é outro desafio, pois necessita manter sua precisão, independentemente da complexidade apresentada na expressão, a fim de torná-la compreensível para o leitor. Outra questão importante na tradução automática da matemática é a rigidez das regras de tradução, que normalmente são usadas independentemente do contexto, idioma ou assunto específico (BIER; SROCZYŃSKI, 2019).

As questões que dizem respeito à gramática e aos modelos para o processamento da notação matemática são elaboradas nos trabalhos “*Improving Automatic Speech Recognition for Mobile Learning of Mathematics Through Incremental Parsing*” e “*Priority Levels and Heuristic Rules in the Structural Recognition of Mathematical Formulae*” (SROCZYŃSKI, 2011; ISAAC *et al.*, 2016).

Diferentes abordagens foram usadas para a conversão automática de notação matemática para a forma falada e vice-versa. Uma solução possível para o sistema ler (ou escrever) notação matemática de maneira compreensível e adequada é equipá-la com uma ferramenta para tradução automática da notação simbólica matemática para a linguagem falada, tal como a apresentada no trabalho “*Reading and writing mathematical notation in e-learning environments*” (CUARTERO-OLIVERA; HUNTER; PÉREZ-NAVARRO, 2012), e outra de síntese de fala, como a desenvolvida no trabalho “*Digital reading support for the blind by multimodal interaction*” (EL-GLALY; QUEK, 2014), as quais necessitam de um conjunto de

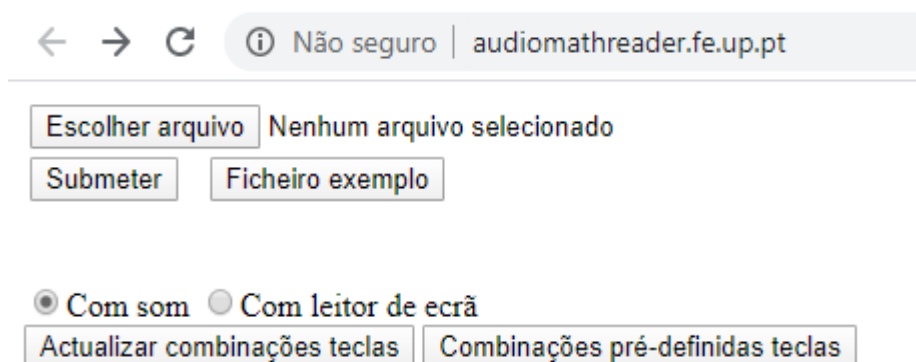
ferramentas, conhecimentos avançados e da língua inglesa, visto que as existentes, em sua grande maioria, foram desenvolvidas neste idioma.

Dentre as ferramentas já desenvolvidas de TTS (*Text-to-speech*) destinadas à Matemática, a grande maioria necessita de um tipo específico de entrada, tal como LATEX ou MathML, linguagens de marcação, e usam um conjunto de regras de tradução predefinidas no processo de tradução, bem como possuem acesso livre, não comercial. Neste âmbito, destacam-se: Math Speak & Write (GUY *et al.*, 2004), AudioMath (FERREIRA *et al.*, 2005), Tcitac (CAKY *et al.*, 2009), TalkMaths (WIGMORE *et al.*, 2009), i-Math (WONGKIA; NARUEDOMKUL; CERCONI, 2012), MathSpeak (NAZEMI; MURRAY; MOHAMMADI, 2012), 4Math (MAĆKOWSKI *et al.*, 2018) e Equation Wizard (BIER; SROCZYŃSKI, 2019).

O Math Speak & Write (GUY *et al.*, 2004) foi desenvolvido em inglês, com o objetivo de criar ferramentas que permitissem criar expressões matemáticas em um computador, combinando caligrafia, fala e o teclado, fornecendo uma interface própria para isso. O projeto não está mais disponível na internet e os testes apresentados no trabalho de Guy e colaboradores (2004) mostravam potencial, porém não existem outras publicações.

O AudioMath (FERREIRA *et al.*, 2005) foi desenvolvido na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, em português, aplicando-se regras predefinidas no banco de dados do software desenvolvido. Seu funcionamento necessita de um arquivo já formatado com equações matemáticas no formato LATEX ou MathML, então, esse arquivo deve ser disponibilizado para o aluno com deficiência visual, que irá utilizá-lo, devendo acessar o site do Audiomath, realizar o upload do arquivo no sistema AudioMath e, então, poderá utilizar um leitor de tela ou o sintetizador de fala nativo da plataforma, como apresentado na Figura 1. O projeto do AudioMath se mantém o mesmo desde 2005, sem novas atualizações e encontra-se disponibilizado na internet através da plataforma PLACES - Plataforma de Acessibilidade da Universidade do Porto, a qual concentra várias ferramentas e tutoriais para a produção de materiais acessíveis.

Figura 1 – Interface do Audiomath



Fonte: O Autor, retirado do site oficial (2020).

O Tcitac (CAKY *et al.*, 2009) trata-se de um módulo para trabalho em conjunto à linguagem de marcação LaTeX, focado na leitura de fórmulas matemáticas em um sistema de conversão de texto em fala para o idioma eslovaco.

O arquivo com fórmulas matemáticas desenvolvido em LaTeX pode utilizar esse módulo para a conversão das equações em áudio, no entanto, é necessário conhecimento de programação para sua utilização. Os autores, em seu artigo, explicam os passos utilizados para a leitura de expressões matemáticas e o processo de tradução e conversão computacional em fonemas.

O TalkMaths (WIGMORE *et al.*, 2009) faz parte de um projeto desenvolvido na Kingston University, com o objetivo de projetar, implementar, testar e avaliar uma interface de fala e usuário, a fim de facilitar a execução de muitas tarefas baseadas em computador, no contexto de ensino de matemática, através de comandos por fala, usando e estendendo as tecnologias existentes. O TalkMaths é uma interface de fala, onde o usuário é capaz de transformar as fórmulas matemáticas faladas em LaTeX ou MathML, ou seja, o usuário dita fórmulas em um microfone e o sistema realiza, automaticamente, o reconhecimento de fala, interpreta-o e executa uma análise de frequência para particionar em fonemas; então, compara essa sequência com padrões armazenados no seu banco de dados de pronúncias e, depois, usa um modelo gramatical estatístico para determinar o que o usuário provavelmente estará dizendo. Por fim, o sistema oferece ao usuário a sequência de palavras mais adequada ou uma lista ordenada de várias sequências de palavras mais adequadas para que ele escolha a opção correta.

Assim, o TalkMaths objetiva economizar tempo dos alunos ao escrever fórmulas matemáticas com um computador, podendo ser utilizado como recurso para auxílio a estudante e professores.

O i-Math (WONGKIA; NARUEDOMKUL; CERCONE, 2012) propõe um sistema de leitura automática de fórmulas matemáticas disponíveis em materiais XML em tailandês, como também uma ferramenta de aprendizado e ensino de matemática para alunos e professores. O i-Math funciona como um leitor de tela, identificando equações em tailandês já desenvolvidas em algum material, como textos, listas de exercícios etc. Após o arquivo aberto no I-Math, ele será mapeado para identificar as equações matemáticas e convertido em XML, para produzir a saída de voz em um computador.

Seus testes foram realizados com professores e alunos, e, segundo os autores, os resultados indicam que o i-Math é capaz de produzir uma saída de fala aceitável com o significado pretendido, porém, nas buscas realizadas, não se encontraram mais publicações posteriores as de 2012 e 2013, não sendo possível afirmar se o projeto se concretizou e foi aplicado.

O MathSpeak (NAZEMI; MURRAY; MOHAMMADI, 2012) foi desenvolvido em inglês, tal como as ferramentas anteriores, e utiliza a conversão das equações para o formato TEX, tal como o LaTeX, já mencionado, de modo que essas equações são convertidas para texto, podendo ser integradas com leitores de tela ou sintetizadores de voz.

Os autores descrevem que MathSpeak se baseia em dois principais passos: converter a equação matemática em um formato de marcação e preparar no formato Amsmath. Assim, permite que o ouvinte acesse uma visualização de alto nível, possibilitando a leitura pelo leitor de tela. Além disso, verificou-se que, os mesmos autores publicaram posteriormente uma estratégia para identificação gráfica de equações e conversão em áudio (NAZEMI; MURRAY, 2013).

O 4Math (MAĆKOWSKI *et al.*, 2018) é uma plataforma de ensino a distância de matemática, em polonês, acessível a cegos. Os autores desenvolveram um método de ensino baseado na decomposição do exercício matemático típico em uma sequência de sub-exercícios elementares (Figura 2), permitindo a resolução interativa dos exercícios de matemática e a avaliação da correção das soluções de exercícios em todas as etapas. Todas as equações matemáticas possuem descrições alternativas em formato de texto, permitindo a leitura por leitores de tela.

Figura 2 – Exemplo de exercício no 4Math

The screenshot shows the 4Math interface. At the top, there is a navigation bar with buttons for "Theory", "Exercise list", "New exercise", "Random exercise", "Start exercise", "Help", and "Log out". On the left side, there is a vertical sidebar with a "4 Math" logo. The main content area displays the exercise: "Evaluate $\int x \tan x^2 dx$." Below this, a hint is provided: "We can substitute $t = x^2$ and then we have: $\int x \tan x^2 dx = \left| \begin{matrix} t = x^2 \\ dt = 2x dx \\ \frac{1}{2} dt = x dx \end{matrix} \right| = \frac{1}{2} \int \boxed{} dt$ ". Below the hint, there are three buttons: "Next", "Verify solution", and "Hint". At the bottom, a callout box contains the formula: "Use the formula $\int f(\varphi(x))\varphi'(x) dx = \int f(t) dt, t = \varphi(x)$ for $\varphi(x) = x^2$."

Fonte: Maćkowski *et al.* (2018)

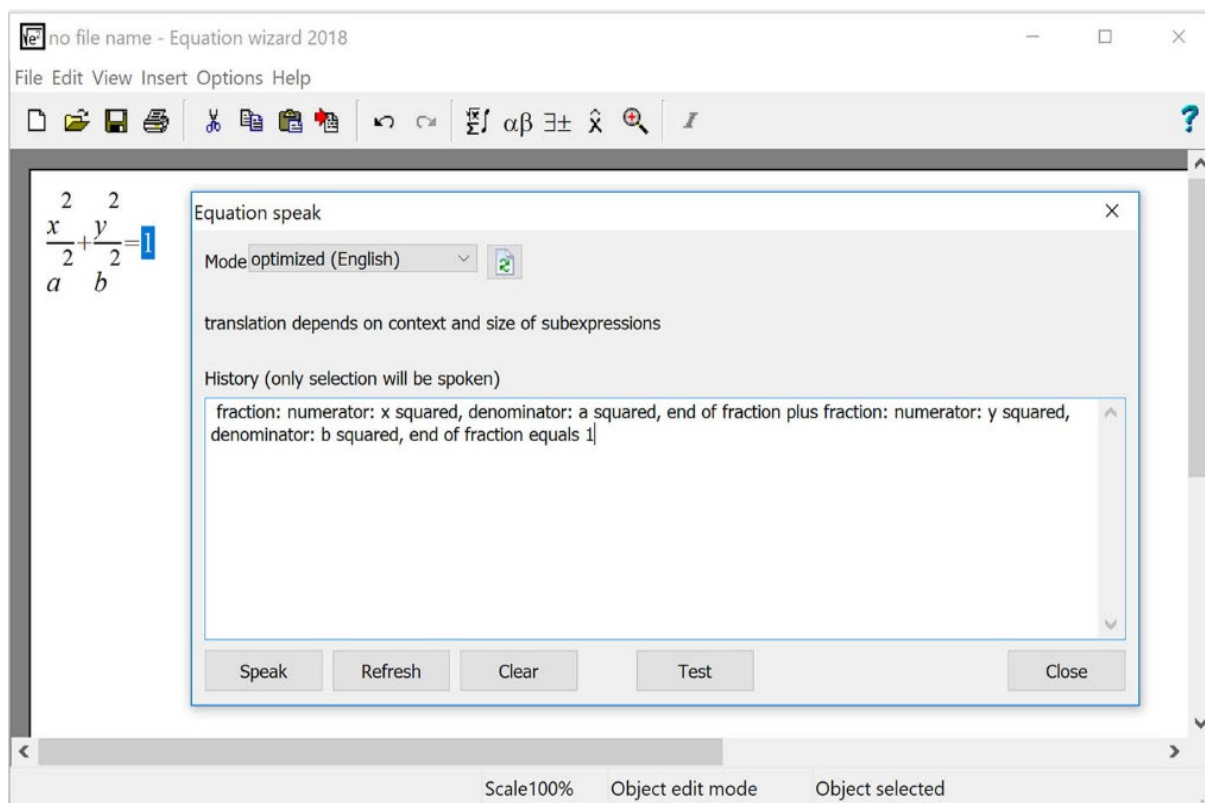
Segundo os autores, os resultados demonstraram que a plataforma é acessível para ensino e avaliação de matemática, possibilitando um bom entendimento das fórmulas matemáticas descritas de acordo com as regras elaboradas (MAĆKOWSKI *et al.*, 2018).

Em trabalhos posteriores, esse mesmo grupo de pesquisa explorou diversas áreas, como verbalização de notações matemáticas, computação e fatores que influenciam na aprendizagem matemática. Por exemplo, nos trabalhos “*Assessing the Influence of the Teaching Method on Cognitive Aspects in the Process of Mathematical Education Among Blind People*” (MAĆKOWSKI *et al.*, 2020) e “*Factors influencing the process of learning mathematics among visually impaired and blind people*” (SPINCZYK *et al.*, 2019), são avaliados aspectos cognitivos no processo de ensino de matemática para cegos, além de ferramentas e recursos que podem auxiliar. Já no “*Rule based intelligent system verbalizing mathematical notation*” (BIER; SROCZYŃSKI, 2019) é apresentado e discutido o Equation Wizard, uma ferramenta autoral para identificação, conversão e verbalização de equações matemáticas.

O Equation Wizard (BIER; SROCZYŃSKI, 2019) é polonês e propõe um sistema de tradução de matemática para fala, multiuso, multilíngue e adaptável, com uma tecnologia própria para conversão de matemática em texto falado (Figura 3),

baseado na linguagem de programação LUA, com a possibilidade de desenvolvimento de scripts de tradução, algo até então inédito nesse contexto.

Figura 3 – Interface do usuário do Equation Wizard



Fonte: Bier e Sroczyński (2019).

O sistema é recente e ainda está em testes, mostra-se promissor, visto que é uma sequência de trabalho do grupo de pesquisa polonês.

Outras abordagens de identificação de caracteres matemáticos podem ser encontradas na literatura e incluem, por exemplo, OCR matemático para reconhecimento de expressões apresentadas graficamente (NAZEMI; MURRAY, 2013) e conversão em áudio ou o projeto “*China Digital Platform of Braille*” (SU; CAI; WU, 2018), desenvolvido na China e com abordagens para conversão de MathML em braille e verbalização em idioma chinês.

Todas as iniciativas citadas anteriormente foram desenvolvidas em grupos de pesquisas, em diferentes países, a fim de serem disponibilizadas de forma gratuita, mas de forma isolada, não ocorrendo um trabalho colaborativo com a disponibilização em repositório aberto, por exemplo. Percebe-se que, por mais que sejam de cunho científico e aberto, não ocorre manutenção e sequência nos trabalhos.

Neste sentido, destacam-se também as ferramentas comerciais, como o plugin MathPlayer (MATHPLAYER, 2020) para o Microsoft Office ou o MathTalk (MathTalk Speech Recognition Math Software, 2020), ambas são produtos pagos para acessibilidade e leitura de notações matemáticas e são mantidas pelas empresas que as desenvolveram, porém, são pagas e não abordam todos os países e idiomas.

Neste âmbito, no Brasil, destaca-se o projeto NavMatBR, desenvolvido desde 2016 pelo ALCANCE: Núcleo de Pesquisas em Acessibilidade, Usabilidade e Linguística Computacional da Universidade Federal de Lavras – MG (PIMENTA FREIRE *et al.*, 2019). O projeto envolve pesquisa com professores de Matemática do Brasil e pessoas com deficiência visual para desenvolver leitura de fórmulas matemáticas na Web em português do Brasil, com base nas práticas usadas em sala de aula, usando estratégias de processamento de Língua Natural (PIMENTA FREIRE *et al.*, 2019).

Neste projeto, foi desenvolvido o protótipo ChromeVox-NavMatBR (ABREU *et al.*, 2019), o qual explorou o leitor de tela ChromeVox, com a inclusão de comandos específicos sobre equações matemáticas, sendo avaliado e testado em trabalhos recentes, com o desenvolvimento de um novo protótipo – o Access8Math-NavMatBR (GUEDES, 2020), compatível com o leitor de tela NVDA.

Os autores relatam que as pesquisas apresentaram avanços no estudo de técnicas para auxiliar na compreensão das fórmulas matemáticas por pessoas com deficiência visual por meio de leitores de tela, além de considerações sobre os padrões de exploração linguísticos e semânticos, utilizados por usuários brasileiros no que diz respeito à leitura e navegação em fórmulas matemáticas (GUEDES, 2020).

Diante disso, enfatiza-se que a maioria das soluções apresentadas suporta apenas o idioma inglês, incluindo as ferramentas comerciais citadas e que, devido à gramática e semântica, essas soluções não podem ser usadas diretamente para outros idiomas nacionais.

As ferramentas apresentadas e propostas em alguns idiomas (português, eslovaco, polonês, chinês ou tailandês) necessitam de grande esforço para tradução e adaptação às culturas locais. Dentre as ferramentas pesquisadas, observa-se também a necessidade de preparação do material em formatos específicos (XML, LaTeX), bem como a instalação de softwares específicos, não gerando autonomia ao professor e ao deficiente visual. Assim, falta uma solução flexível, que permita adaptação e que seja de fácil uso para todos os envolvidos.

Frente ao exposto, o Math2Text é proposto com o diferencial de ser uma ferramenta aberta (*open source*) com código livre, em português, que permita o auxílio tanto na produção de materiais didáticos acessíveis como na leitura de expressões matemáticas com qualquer leitor de tela, gerando flexibilidade e autonomia.

Desse modo, na visão aqui apresentada e nos objetivos deste trabalho, demonstram-se a originalidade e o ineditismo a partir do desenvolvimento da tecnologia assistiva Math2Text, que possibilita conversão de notações matemáticas para texto, no idioma português, adaptável e que atenda às necessidades de alunos com deficiência visual e professores.

3 CONCEITOS COMPUTACIONAIS RELEVANTES PARA O ENTENDIMENTO DESTA PESQUISA

O objetivo deste capítulo é apresentar alguns conceitos básicos e a terminologia comum usados na computação quanto à sua concepção e seu funcionamento, além do desenvolvimento de software e a utilização de linguagens de marcação, a fim de facilitar ao leitor o entendimento de metodologias e conceitos utilizados no decorrer desta pesquisa, cujo direcionamento é para profissionais e estudantes da área de Educação e Ensino, os quais podem não estar habituados com termos e estratégias da Área de Computação.

A sociedade atual sabe da grande importância da tecnologia, pois é possível observar praticamente em todas as áreas que atividades rotineiras, seja das mais simples até as mais complexas, são passíveis de serem automatizadas e de se usufruir das vantagens de alguma tecnologia empregada. Um exemplo é a internet, que possibilita propagar a informação e o conhecimento, sem que se precise estar em uma sala de aula presencial, ou seja, uma imensidão de possibilidades é aberta, utilizando-se um notebook ou computador conectado à rede. Portanto, o computador se tornou algo útil, benéfico e ágil para as pessoas.

O grande objetivo da humanidade quando se falou em construir um computador foi se pensando em agilizar tarefas cotidianas, ou seja, dar conforto e praticidade para a sociedade. O computador é um equipamento capaz de receber, processar, produzir e armazenar informações, em uma velocidade proeminente ao cérebro humano.

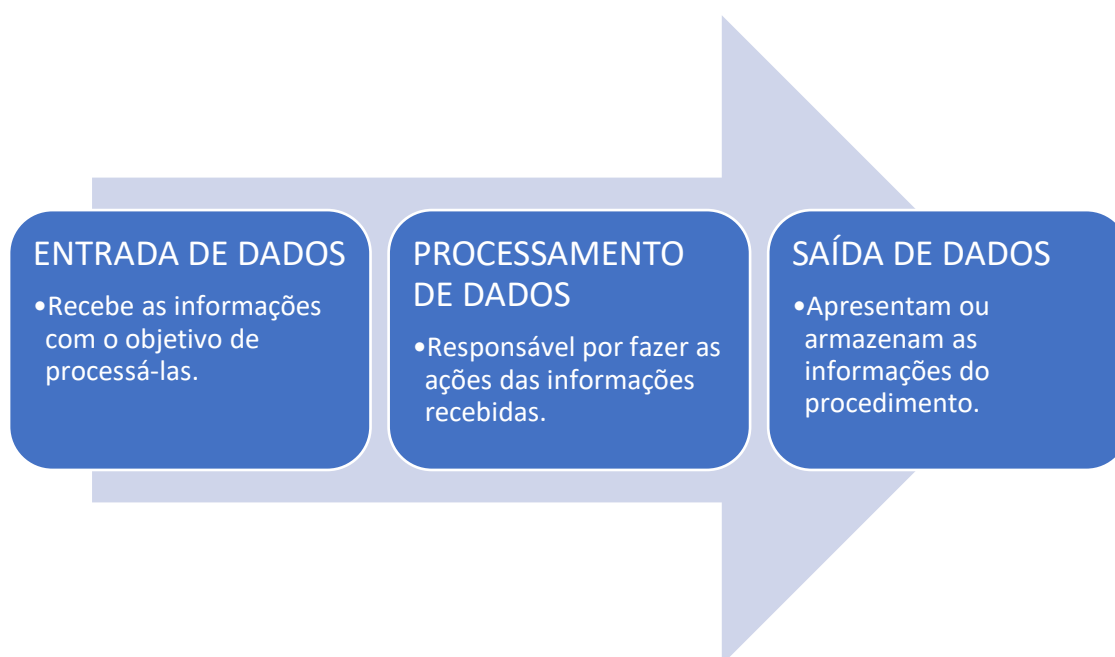
A história do computador sempre esteve vinculada com cálculos matemáticos, iniciando nos primeiros ábacos, passando por máquinas de processamento, como Máquina Pascalina (1622), Tear de Jacquard (1804), máquina analítica com cartões perfurados de Charles Babbage (1834), máquina tabuladora de Herman Hollerith (1884 - 1887), chegando na história mais recente a partir do ENIAC (1946), que foi o grande precursor dos computadores e celulares utilizados hoje em dia, com a evolução da eletrônica e suas possibilidades (CAPRON; JOHNSON, 2004).

Esses computadores que fazem parte do cotidiano podem ser divididos em diferentes tipos:

- Desktop: Computador de mesa, composto por um monitor, teclado, mouse e uma CPU, formada por placa-mãe, processador, entre outras peças fundamentais.
- Notebook ou Laptop: Mobilidade, “tudo em um”, o monitor, teclado, mouse e CPU foram integrados em um só dispositivo, tornando-o portátil.
- Tablet: Possui características semelhantes ao notebook, porém é menor e suas ações se concentram através do toque na tela (touchscreen), ou seja, não possui teclado integrado em seu dispositivo, é um tipo de dispositivo móvel.
- Smartphone: Um computador de mão, possui as funções de um celular de fazer chamadas, no entanto, conta com funções similares encontradas em um computador, com acesso a aplicativos e internet, é outro tipo de dispositivo móvel.

Todos os tipos de computadores apresentados têm algo em comum: trabalham obedecendo três procedimentos básicos para o seu funcionamento: entrada de dados, processamento e saída de dados, como se observa na Figura 4.

Figura 4 – Procedimentos básicos de um computador



Fonte: O Autor (2021).

Ou seja, cada procedimento é responsável por alguma ação que o computador realiza para que seja possível seu funcionamento. Quando se pensa em desenvolver um sistema computacional, pensa-se nesse fluxo, pois o computador funciona desta maneira.

Cada um desses procedimentos possui dispositivos relacionados, por exemplo, o mouse e o teclado são dispositivos de entrada de dados, a placa mãe e o processador são dispositivos de processamento de dados, e o monitor e a impressora são dispositivos de saída de dados. Esses dispositivos e os sistemas computacionais que os gerenciam são interligados a partir de software e hardware.

Hardware e Software são dois elementos essenciais para o computador e, portanto, não há funcionamento do computador com a ausência de algum deles. Hardware é uma palavra que representa a parte física do computador, ou seja, é todo material que é tocável. Pode-se destacar, assim, os acessórios e dispositivos de entrada, e até mesmo fios, cabos e placas são considerados hardware (CORNACHIONE, 2012).

Software caracteriza-se como a parte lógica usada no computador. É tudo aquilo que não se consegue tocar, definindo-se como o conjunto de instruções sequenciadas que executam tarefas solicitadas pelo usuário no computador. Essas instruções sequenciadas são geralmente feitas por pessoas que estudam programação – programadores ou desenvolvedores – os quais são responsáveis por criar programas.

A fim de esclarecer o significado do termo software, pode-se compará-lo a uma receita de bolo, na qual descrevem-se os ingredientes e seu modo de preparo (entrada de dados), as ações de bater, misturar e colocar no forno (processamento de dados) e, ao fim, o bolo estará pronto (saída de dados).

Esses procedimentos são similares a um programa de computador, onde o modo de preparo pode ser associado ao conjunto de instruções, por outro lado, os ingredientes são os dados (nomes, valores, datas etc.).

Todo o conjunto de instruções é armazenado em um elemento do hardware (HD) e processado, quando solicitado. A finalidade deste processamento produz informações que podem ser apresentadas na saída dos dados (monitor de vídeo ou enviadas para uma impressora, por exemplo).

Um software pode ser manipulado para realizar apenas uma tarefa específica ou pode controlar várias tarefas em um computador. Isso determina o tipo de software que será desenvolvido, tal como sistemas operacionais, aplicativos, dentre outros.

Um sistema operacional é um software que controla todo o computador/smartphone, tal como o Windows, Linux no caso de computadores, e o Android e o IOS no caso de dispositivos móveis.

Os aplicativos são softwares com objetivos específicos que se comunicam com o sistema operacional, a exemplo dos editores de texto, planilha, apresentação, um leitor de tela que realiza a leitura de todos os itens da tela do computador, dentre outros.

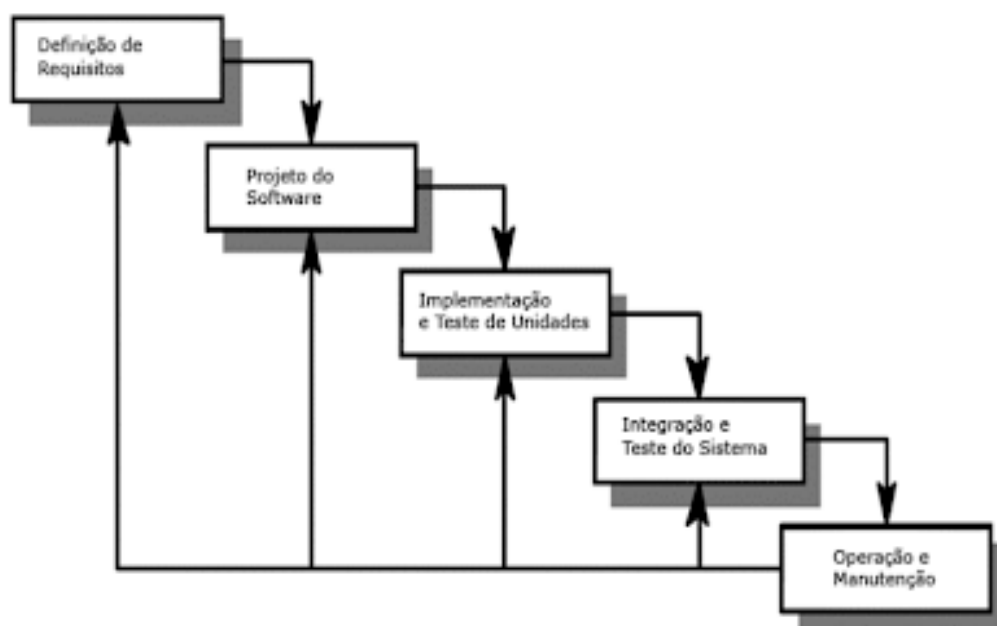
Esses softwares podem ser licenciados de diversas maneiras, como software livre (é possível copiar, usar, modificar e redistribuir de acordo com a necessidade de cada usuário, sem restrições); por outro lado, o software proprietário é controlado pelo seu criador, cuja cópia e redistribuição somente é designada a ele, e o uso desse software é possível apenas mediante licenças pagas.

O desenvolvimento de softwares segue métodos bem definidos, pautados no ciclo de vida do desenvolvimento de software clássico (Figura 5), o qual, segundo a norma NBR ISO/IEC 12207:1998 (ABNT, 1998), define-se como: “Estrutura contendo processos, atividades e tarefas envolvidas no desenvolvimento, operação e manutenção de um produto de software, abrangendo a vida do sistema, desde a definição de seus requisitos até o término de seu uso.” A mesma norma (NBR 12207/1998) define cinco principais fases do desenvolvimento de software:

1. Fase de requisitos: levanta os requisitos mínimos, estuda a viabilidade e define o modelo a ser usado. Os requisitos dividem-se em: funcionais, que descrevem as funcionalidades e o comportamento do software, e os não funcionais, que se relacionam com características de qualidade, por exemplo, desempenho, interoperabilidade;
2. Fase de projeto: Envolve atividades de concepção, especificação, design da interface, prototipação, design da arquitetura;
3. Fase de implementação: tradução para uma linguagem de programação das funcionalidades definidas durante as fases anteriores;
4. Fase de testes: realização de testes no que foi desenvolvido de acordo com os requisitos;

5. Fase de produção e manutenção: implantação em produção do produto, operação e manutenção.

Figura 5 – Fases do modelo de Desenvolvimento Clássico

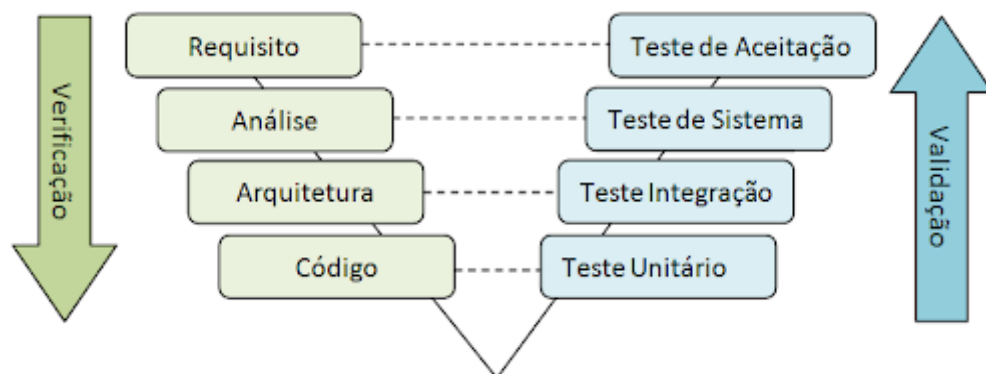


Fonte: Adaptado de Sommerville (2003)

Essas fases são abordadas de diferentes maneiras, através de modelos do ciclo de vida de desenvolvimento de software (PRESSMAN; MAXIM, 2016). Os principais são: Modelo em Cascata, com variações tal como o modelo V, Modelo Espiral, Modelo Incremental, Prototipagem e Metodologias Ágeis, todos seguem as fases citadas e possuem especificidades que se adaptam em diversas situações.

Nesta pesquisa, utilizou-se o modelo de desenvolvimento em V (Figura 6), o qual se baseia no modelo em cascata, sendo necessário que cada etapa seja concluída para que a próxima se inicie.

Figura 6 – Modelo de desenvolvimento V



Fonte: Adaptado de Sommerville (2003)

Esse modelo possui uma característica de verificação e validação (V&V), conforme observado na Figura 6, a verificação se relaciona com as fases do desenvolvimento e a validação com as fases dos testes.

A fase de testes tem relação direta com a V&V do software, a qual garantirá a satisfação dos utilizadores e de que todos os requisitos especificados funcionam.

Como parte da V&V existem os testes, os quais dividem-se essencialmente em dois métodos: métodos de Black box (teste funcional) e métodos White box (teste estrutural) (PRESSMAN; MAXIM, 2016). Os testes Black box normalmente são realizados pelos usuários do sistema e visam garantir o atendimento aos requisitos, ou seja, que os requisitos estão corretamente codificados. Já os testes White box, normalmente realizados pelos próprios programadores e softwares específicos, baseiam-se na análise interna do software, em sua estrutura, verificando o fluxo previsto de entradas e saídas (PRESSMAN; MAXIM, 2016).

Esses métodos são aplicados durante a etapa de validação no Modelo V (Figura 6), o qual utiliza-se dos seguintes testes:

- Teste de Integração e Unidade: Testes White Box (estruturais) para verificar a estrutura e lógica das funções desenvolvidas, realizado pelo programador.
- Teste do Sistema: testagem do software completo, realizado pela equipe de teste.
- Teste de Aceitação: testes Black box (funcionais) com os usuários finais do sistema.

Esses testes, procedimentos, modelos e processos de desenvolvimento de software foram desenvolvidos ao passo que os computadores e dispositivos evoluíam; paralelamente a isso, também surgiu e evoluiu a internet, tornando-se uma ferramenta indispensável na vida das pessoas, e com ela se mudou o modo de se viver, revolucionando a forma de busca, pesquisa, envio e recebimento de informações dos mais variados tipos (textos, imagens, sons etc.).

A internet é um sistema que interliga diversas redes de computadores, permitindo infraestrutura para diferentes serviços ou aplicações, tais como mensagens por chat, e-mail, conferências virtuais, compartilhamentos de recursos, streaming, dentre outros. Esse avanço da internet impactou todas as áreas, modificando a forma de se interagir em sociedade (através dos celulares e redes sociais, por exemplo). Mas, principalmente, no contexto da pandemia da COVID-19 em que esta pesquisa foi finalizada, o computador e a internet possibilitaram que diversas atividades continuassem em execução, mesmo com as medidas necessárias de distanciamento social, tanto para o trabalho em foco, para o entretenimento, quanto para a educação.

Ainda refletindo-se sobre o momento da pandemia, é fato que sem o uso de um computador com internet, seria difícil imaginar como o trabalho, a educação e a vida social estariam sendo mantidas. Neste sentido, é necessário o constante desenvolvimento de tecnologias e a preocupação com o ambiente virtual para todas as pessoas. Nas próximas seções, serão abordados conceitos de DU, acessibilidade, usabilidade, TA, os quais têm relação direta com o acesso a todos.

Esse ambiente da internet é possível de ser acessado através dos aplicativos de acesso, chamados de clientes. Eles requisitam a informação a partir do seu computador para a internet, o exemplo mais simples de cliente são os navegadores de internet, também chamados de browser, que oferecem opções para a navegação da internet. Alguns exemplos de navegadores são: Internet Explorer, Mozilla Firefox e Google Chrome. Esses clientes necessitam de softwares e protocolos específicos para se comunicarem com a internet e compartilharem informações, o chamado modelo cliente-servidor, onde o cliente é o navegador em seu computador e o servidor a internet como um todo.

Para que esse modelo cliente-servidor funcione de maneira adequada, é necessário seguir padrões de arquitetura web, os quais consistem em uma requisição padronizada, um protocolo de comunicação e uma resposta padronizada.

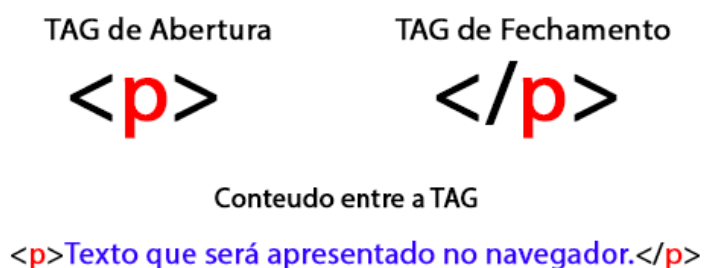
A requisição padronizada poderia ser a URL (*Uniform Resource Locator*), um identificador que oferece um método de recuperação (de uma representação) do recurso, que é utilizado ao digitar um endereço no navegador, por exemplo www.google.com. O protocolo de comunicação, como o HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) define como essas informações serão transportadas e compartilhadas na internet a partir da requisição, por isso está na frente da URL `http://www.google.com`.

E a resposta padronizada necessita ser no formato que o cliente (browser) consiga entender, de modo que o processamento é feito em linguagens do servidor (programação), por exemplo Java, PHP, C# e a saída, a representação na tela de quem realizou a requisição é feita em linguagem de marcação (HTML/XHTML), script (Javascript) ou de estilos (CSS) (PUREWAL, 2017). Nesse ponto, para o entendimento desta pesquisa, é de extrema importância entender o que são linguagens de marcação e como elas funcionam.

O HTML (*Hypertext Markup Language*) foi inventado por Tim Berners Lee, no fim da década de 80, e nasceu junto com a internet, sendo hoje mantido pelo W3C (*World Wide Web Consortium*), um consórcio internacional que padroniza a internet e suas regras (PUREWAL, 2017). O HTML e suas variações, tais como o TeX, MINSE, OpenMath, MathML, são linguagens de marcação baseadas em hipertexto que utiliza tags ou etiquetas, as quais indicam a estrutura em um documento HTML e sempre abrem e fecham, ou seja, sabe-se exatamente onde algo inicia e termina, com o conteúdo (elementos) sendo inserido entre essas tags.

Por exemplo, um conteúdo textual pode ser estruturado em parágrafos utilizando a tag `<p>` `</p>` (Figura 7), em uma lista com marcadores utilizando `` `` ou usando imagens `` `` e tabelas `<table>` `</table>`.

Figura 7 – Exemplo de conteúdo textual estruturado em parágrafos no HTML



Além das tags que delimitam o início e o fim dos elementos, indicando os conteúdos entre as tags, existem também os atributos. Os atributos são informações inseridas nas tags para que elas se comportem da maneira esperada. Existem atributos globais (que funcionam em todas as tags) e específicos (que são direcionados para cada tag, através de especificação).

Um exemplo de atributo é o atributo `alt`, o qual permite inserir textos alternativos em imagens, permitindo que uma informação visual seja acessível por textos. Esse atributo é extremamente importante para tornar materiais visuais digitais, acessíveis; por exemplo, ao se imaginar um site cheio de imagens e conteúdos visuais, sem texto alternativo (*alt*), caso essas imagens não sejam carregadas, não será mostrado nada na tela. É desta forma que um deficiente visual pode se sentir ao acessar seu website com várias imagens, ao executar um leitor de tela, pois o leitor de tela realizará a leitura desse atributo *alt* e não encontrará nenhuma informação alternativa nas imagens que estão na página.

Na Figura 8, é possível visualizar uma imagem e, logo abaixo, o seu código em HTML, no qual constam as tags de abertura e fechamento, o atributo `src`, que indica onde o arquivo da imagem está localizado e o atributo `alt`, indicando o texto alternativo que descreve essa imagem.

Figura 8 – Exemplo de conteúdo textual estruturado em parágrafos no HTML



```

```

Nesta pesquisa, utilizou-se essa estratégia do texto alternativo para descrever textualmente as expressões matemáticas, inserindo a descrição da expressão matemática no atributo alt das páginas, focando em como os leitores de tela realizam a leitura da tela.

Para descrever as expressões, foi necessário identificar esses elementos e, para isso, utilizam-se linguagens de marcação para a publicação de expressões matemáticas na Internet e em documentos digitais, das quais destacam-se as linguagens de marcação TeX, o MathML e o OpenMath.

Elas têm conseguido proliferar junto à comunidade científica, devido à sua documentação e flexibilidade, existindo muitas pesquisas nessa área mantidas pelo W3C, o que as tornam flexíveis. Isso possibilita alternativas de conversão de documentos entre elas e uma escolha segura, pensando em trabalhos futuros; diante disso, optou-se por utilizar o MathML como base para o desenvolvimento do Math2Text, o qual será detalhado no capítulo de resultados da busca de soluções.

A MathML é uma linguagem de marcação matemática (*Mathematical Markup Language*), desenvolvida pelo W3C para a codificação de expressões matemáticas na web. A primeira versão desta linguagem, MathML 1.0, foi publicada como recomendação do W3C em abril de 1998; a versão atual é a MathML 3.0 2ª edição, publicada em 10 de abril de 2014 (W3C, 2014).

Esta linguagem de marcação permite descrever notações matemáticas e capturar sua estrutura e conteúdo, podendo ser utilizada para codificar conteúdo matemático, permitindo que a matemática seja acessível na internet, tal como o HTML possibilita a acessibilidade para textos.

Na Figura 9, é possível visualizar a expressão $x+5=0$ desenvolvida em MathML com as respectivas tags, as quais delimitam cada elemento da expressão.

Figura 9 – Exemplo de expressão matemática em MathML

$$x + 5 = 0$$

```
<math xmlns="http://www.w3.org/1998/Math/MathML">  
  <mi>x</mi>  
  <mo>+</mo>  
  <mn>5</mn>  
  <mo>=</mo>  
  <mn>0</mn>  
</math>
```

Fonte: O Autor (2021)

Embora o MathML seja legível por humanos, utilizam-se editores de equação, programas de conversão e outras ferramentas de software especializadas para gerar o MathML. Neste estudo, serão utilizadas algumas delas na concepção do Math2Text.

Em nível de acessibilidade na internet e acesso à informação, o MathML desempenha um papel importante, uma vez que o desenvolvimento de programas de conversão texto com suporte para MathML permitirão uma interpretação auditiva das expressões matemáticas (FERREIRA *et al.*, 2005).

Assim, ao se falar de acessibilidade na internet, o que será abordado com mais profundidade nos próximos capítulos, é importante destacar os conceitos de Interface Humano Computador (IHC).

Interface, de acordo com Oliveira, Cruz e Ezequiel (2004), é parte do sistema computacional que determina o modo de operação e seu controle. Uma interface, quando projetada adequadamente, é compreensível, agradável e controlável. A interação humano-computador está relacionada com a comunicação entre o ser humano e o computador, enquanto a IHC é o software responsável pelo mapeamento das ações do usuário no sistema (REZENDE, 2001 apud OLIVEIRA *et al.*, 2004).

Ao elaborar uma interface, deve-se levar em consideração um processo de design embasado em sólidos princípios de usabilidade, acessibilidade, desenho universal (BASTIEN; SCAPIN, 1993; NIELSEN, 1993; SHNEIDERMAN, 1998), os quais também irão nortear o desenvolvimento desta pesquisa e serão abordados nas próximas seções.

Este capítulo teve como objetivo equiparar os conhecimentos inerentes à área de computação, tornando-os acessíveis a leitores da área de educação e ensino, pois se fazem necessários para o bom entendimento de alguns processos e resultados apresentados nesta pesquisa.

4 A EDUCAÇÃO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA

4.1 CONCEITO DE DEFICIÊNCIA: HISTÓRICO E ASPECTOS LEGAIS

Com o objetivo de compreender as questões envolvidas na temática da inclusão e no momento que esta pesquisa foi realizada, é necessário olhar para o passado. A história das pessoas com deficiência ao longo do tempo foi marcada por exclusão e restrições, sendo permitido à pessoa com deficiência apenas viver a sua condição, evitando interação com as pessoas à sua volta.

Em sociedades antigas, Garcias (2002) afirma que havia duas visões acerca das pessoas com deficiência: a depreciativa e a mítica.

A visão depreciativa considera a deficiência como algo a ser eliminado, sendo que, em sociedades da China antiga e Grécia, era constante o assassinato das pessoas que nasciam “deformadas”, sendo consideradas subumanas, seres anormais (GARCIAS, 2002).

Já a visão mítica, muito comum em culturas africanas, considerava as pessoas com deficiência como um amuleto, representantes de poderes sobrenaturais, atribuindo divindade, poder e atributos superiores (GARCIAS, 2002).

Em ambas as situações, a pessoa com deficiência era considerada uma anormalidade, fora da espécie humana, levando esse momento histórico a ser denominado como “período da exclusão”, sendo marcado pela anormalidade que segregava a pessoa com deficiência e a impedia de se relacionar com os outros (GALVÃO FILHO, 2009).

Essa percepção somente foi alterada na cultura ocidental, na Idade Média, com o aumento da influência teológica, a difusão do cristianismo, no qual o extermínio passa a ser combatido e se instala o processo de institucionalização da pessoa com deficiência (GALVÃO FILHO, 2009). É nesse momento que surgem espaços de segregação, onde eram “depositados” os pobres, doentes, deficientes, e isso pouco mudava à primeira vista, pois ainda era mantida a ideia de algo externo, ou incompleto, porém, era o primeiro passo de uma grande mudança de paradigmas. Esses asilos, hospícios e hospitais eram uma alternativa que a sociedade encontrava para aqueles que a ameaçavam com suas diferenças (TEDESCO, 2020).

Foi somente no século XX que se iniciaram as discussões sobre a inclusão e a participação das pessoas com deficiência na sociedade, marcadas, principalmente,

pela Declaração Universal dos Direitos do Homem, em 1948, documento que estimulou atitudes menos discriminatórias e mais solidárias entre os seres humanos (GALVÃO FILHO, 2009).

A partir disso, as organizações que atuavam para e com as pessoas com deficiência iniciaram uma luta a favor dos direitos dessas pessoas, objetivando integrar a pessoa com deficiência na sociedade.

Essa luta possibilitou que a abordagem da deficiência e a sua conceituação fossem sendo alteradas de um modelo médico, na qual era entendida como uma anomalia, uma limitação do indivíduo, para um modelo social e mais abrangente, que compreende a deficiência como resultado das limitações e estruturas do corpo, mas também da influência de fatores sociais e ambientais do meio no qual está inserida (BRASILEIRO; MOREIRA; BUCHALLA, 2013).

Assim, é importante entender que pessoas com deficiência são, antes de mais nada, pessoas, como todas as outras, com vontades e necessidades, que lutam pelos seus direitos, pela autonomia individual e inclusão na sociedade, evidenciando-se, portanto, que a deficiência é apenas uma característica da condição humana, tal como tantas outras que cada pessoa possui de forma individual (RESENDE; VITAL, 2008).

Partindo do exposto, dos avanços e das relações entre as pessoas, ressalta-se que a conceituação e o entendimento sobre deficiência também foi influenciado positivamente pelas convenções internacionais, das quais destaca-se: Declaração dos Direitos das Pessoas Deficientes (ONU, 1975); *International Classification of Impairments, Disabilities and Handicaps* – ICIDH (FENN, 1982); Convenção Interamericana para a Eliminação de Todas as Formas de Discriminação contra as Pessoas Portadoras de Deficiência (UNESCO, 1999); Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (BRASIL, 2009).

Na Declaração dos Direitos das Pessoas com Deficiência, aprovada pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas, em 1975, o termo “pessoas deficientes” refere-se a qualquer pessoa incapaz de assegurar, por si mesma, total ou parcialmente, as necessidades de uma vida individual ou social normal, em decorrência de uma deficiência, congênita ou não, em suas capacidades físicas ou mentais (ONU, 1975).

Já a *International Classification of Impairments, Disabilities and Handicaps* – ICIDH, publicada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), em 1976, traduzida para o português como Classificação Internacional das Deficiências, Incapacidades e

Desvantagens – CIDID (AMIRALIAN *et al.*, 2000), conceituava as pessoas com deficiência no contexto biológico, da seguinte maneira:

Deficiência: perda ou anormalidade de estrutura ou função psicológica, fisiológica ou anatômica, temporária ou permanente. Incluem-se nessas a ocorrência de uma anomalia, defeito ou perda de um membro, órgão, tecido ou qualquer outra estrutura do corpo, inclusive das funções mentais. Representa a exteriorização de um estado patológico, refletindo um distúrbio orgânico, uma perturbação no órgão (AMIRALIAN *et al.*, 2000, p.98).

Em 1994, durante a Conferência Mundial sobre Educação Especial, foi elaborada a Declaração de Salamanca, com o principal objetivo de fornecer diretrizes básicas para a formulação e reforma de políticas e sistemas educacionais de acordo com o movimento de inclusão social (BERSCH, 2017).

Na Convenção Interamericana para a Eliminação de Todas as Formas de Discriminação contra as Pessoas Portadoras de Deficiência (UNESCO, 1999), foi instituído o Decreto 3956/01, definindo o termo deficiência como “uma restrição física, mental ou sensorial, de natureza permanente ou transitória, que limita a capacidade de exercer uma ou mais atividades essenciais da vida diária, causada ou agravada pelo ambiente econômico e social”.

Outro marco importante foi a Segunda Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (UNESCO, 1999), homologada no Brasil por meio do Decreto Legislativo 6949/09 (BRASIL, 2009), que defende que pessoas com deficiência são aquelas que têm impedimentos de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, os quais, em interação com diversas barreiras, podem obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdades de condições com as demais pessoas.

Nesta crescente, a CIDID, criada pela ONU em 1976, sofria várias críticas, devido à sua conotação com o “modelo médico”, estabelecendo uma relação causal e unidirecional entre deficiência – incapacidade – desvantagem, que se centrava nas limitações “dentro” da pessoa e apenas nos seus aspectos negativos e, portanto, não contemplava o papel determinante dos fatores ambientais e de todo o contexto vivido.

Assim em 2001, a ONU publicou a Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF), em virtude da necessidade de cobrir as questões que não eram alcançadas pela CIDID, a princípio as consequências das doenças (DI NUBILA; BUCHALLA, 2008).

Com a CIF, consolidou-se o desenvolvimento conceitual relacionado às questões da deficiência e da incapacidade, saindo de uma classificação de “consequência das doenças” (CIDID) para uma classificação de “componentes da saúde” (CIF) (DI NUBILA; BUCHALLA, 2008). Essa mudança conceitual da deficiência foi consolidada pela Convenção dos Direitos da Pessoa com Deficiência, proclamada pela ONU em 2006, que em seu artigo 1º dispõe:

Pessoas com deficiência são aquelas que têm impedimentos de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, os quais, em interações com diversas barreiras, podem obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade com as demais pessoas.

A evolução do conceito de pessoa com deficiência e o seu entendimento no decorrer dos anos resultou na Lei 13.146, de 6 de julho de 2015, também chamada de Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência) (BRASIL, 2015), a qual é destinada a assegurar e a promover, em condições de igualdade, o exercício dos direitos e das liberdades fundamentais por pessoa com deficiência, visando à sua inclusão social e cidadania, a qual prevê, em seu artigo 2º:

Art. 2º Considera-se pessoa com deficiência aquela que tem impedimento de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, o qual, em interação com uma ou mais barreiras, pode obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas (BRASIL, 2015).

A mesma lei, em seu artigo 27, aborda a acessibilidade na educação:

Art. 27. A educação constitui direito da pessoa com deficiência, assegurados sistema educacional inclusivo em todos os níveis e aprendizado ao longo de toda a vida, de forma a alcançar o máximo desenvolvimento possível de seus talentos e habilidades físicas, sensoriais, intelectuais e sociais, segundo suas características, interesses e necessidades de aprendizagem (BRASIL, 2015).

Hoje, no Brasil, além da Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (BRASIL, 2015), outras normativas são importantes no regimento da questão da acessibilidade na educação em seus diversos níveis. Uma delas, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação – LDB (BRASIL, 1996), determina que a Educação Especial para pessoas com deficiência é responsabilidade do estado, em todas as etapas da educação.

Já no contexto da educação a distância, a Resolução CNE/MEC Nº 1, de 11 de março de 2016 (BRASIL, 2016), estabelece as Diretrizes e Normas Nacionais para a Oferta de Programas e Cursos de Educação Superior na Modalidade a Distância:

Art. 3º - § 2º Cabe à IES credenciada assegurar a todos os estudantes matriculados, corpo docente, tutor e gestor, o acesso às tecnologias e aos recursos educacionais do curso, respeitadas as condições de acessibilidade definidas na legislação pertinente (BRASIL, 2015).

Ainda, a Lei de Libras – Lei Nº 10.436, de 24 de abril de 2002 (BRASIL, 2002), regulamentada pelo Decreto Nº 5.626, de 22 de dezembro de 2005, que institucionalizou a Língua Brasileira de Sinais (Libras) como língua oficial do Brasil, e foi importante instrumento para fomentar a educação de pessoas surdas em sua língua materna.

Assim, estas normativas fazem parte de políticas específicas para tutelar pessoas com deficiência, auxiliando no desenvolvimento de políticas públicas, prevendo um rol próprio de direitos fundamentais, impondo obrigações a serem observadas pelo Estado e pela sociedade em geral, o que vem a garantir a utilização e o acesso a recursos, além de nortear juridicamente os direitos das pessoas com deficiência.

Logo, não é a pessoa que apresenta uma deficiência, mas a sociedade e o meio, corroborando Aranha (2001), que considera a deficiência como uma condição determinada pela sociedade, em função da limitação ou do impedimento à participação efetiva da pessoa diferente nas variadas instâncias da sociedade, tanto no debate de ideias quanto na tomada de decisões.

Portanto, a sociedade necessita de um esforço coletivo para a eliminação das barreiras existentes para a inclusão das pessoas com deficiência, com investimentos em acessibilidade, tecnologia assistiva, comunicação alternativa, entre outros, de maneira que disponha dos meios adequados para a interação e a participação em igualdade de condições pelas pessoas com deficiência.

A partir disso, nesta pesquisa, serão tratadas a deficiência visual e as possibilidades da tecnologia assistiva nesta área. Na próxima seção, serão abordados: questões históricas, conceitos e possibilidades educacionais relacionadas à deficiência visual.

4.2 A DEFICIÊNCIA VISUAL

Historicamente, as pessoas com deficiência visual sofreram os mesmos sentimentos de rejeição, preconceito, intolerância, religiosidade e desconhecimento, refletindo na forma como a sociedade atual age com as pessoas cegas, considerando que são incapazes.

Essa afirmação corrobora Roma (2019, p.2), a qual diz “que nos dias atuais muitas pessoas consideram que os deficientes visuais são pessoas incapazes de ter uma vida independente, produtiva e quando o conseguem fazer, são chamados de seres superdotados”. Essa percepção, ao longo da história, demonstra que a cegueira vem sendo considerada algo de difícil compreensão e isso possui relação com a conceituação da deficiência visual e seus sujeitos.

A deficiência visual é classificada por dois grupos distintos, conforme o resíduo visual que as pessoas apresentam: cegueira e baixa visão (ou visão subnormal). Para Lima (2018), dúvidas referentes à terminologia e conceituação surgem nesse cenário, assim sugere uma classificação de acordo com diferentes critérios: aspectos legais, educacionais e leiga.

Legalmente, a deficiência visual segue a 10ª classificação Estatística Internacional das Doenças e Problemas relacionados à Saúde (CID-10), padrão que é definido de acordo com a acuidade visual (a capacidade de reconhecer determinado objeto a determinada distância) e campo visual (a amplitude da área alcançada pela visão), encontrados na mensuração realizada com testes quantitativos para longe, sendo:

- Baixa visão (Visão Subnormal) quando o valor da acuidade visual corrigida no melhor olho é pior que 0,3 (20/60) e melhor ou igual a 0,05 (20/400) ou seu Campo Visual menor que 20° no melhor olho com a melhor correção.
- Cegueira quando o valor de acuidade visual é pior que 0,05 (20/400) no melhor olho ou Campo Visual, menor que 10°.

Outro ponto a entender é sobre a deficiência visual congênita e adquirida. A congênita é quando a pessoa nasce com a deficiência ou a perdeu até os 5 anos de idade, ao passo que a adquirida se dá quando a pessoa perde a visão no decorrer da sua vida (GONZALES, 2007).

Do ponto de vista educacional, o que mais interessa nessa abordagem é a observação de como a visão do estudante “funciona” em termos práticos. Já não

interessam apenas os aspectos quantitativos, mas, sim, a qualidade da visão, refletindo como o estudante a utiliza, quais são os potenciais visuais a serem explorados e os recursos adequados para cada caso (BERSCH, 2017; LIMA, 2018). Neste sentido, a pessoa cega necessita do Sistema Braille como meio de leitura e escrita, que é fundamental para a alfabetização, além de outras TA, como leitores de tela e softwares específicos (LIMA, 2018).

No ensino de Matemática, também se inserem como tecnologia assistiva o sorobã, o ábaco, o material dourado, que são recursos táteis que podem ser utilizados nas aulas, possibilitando a compreensão dos conceitos por meio de sua manipulação.

Já no caso da baixa visão ou visão subnormal, essas pessoas, além dos recursos citados, também podem se utilizar de recursos óticos especiais ou ler textos impressos ampliados (BERSCH, 2017; LIMA, 2018).

E, por fim, Lima (2018) considera o critério leigo, no qual a baixa visão (ou Visão Subnormal) é quando se apresenta 30% de visão no melhor olho e não há melhora com o uso de óculos comuns e após tratamentos clínicos ou cirúrgicos.

Como citado, muitas dúvidas surgem nesse cenário da deficiência visual, existindo distintos grupos no referido universo, com peculiaridades que necessitam ser esclarecidas, de forma a tornar possível um pleno desenvolvimento em todos os aspectos, quer seja familiar, social e educacional.

Nesta crescente, a próxima seção trará o conceito de compensação e mediação na teoria de Vigotski, no ensino inclusivo do deficiente visual, e sua relação com o DU, o qual objetiva entender psicologicamente esse cenário e a relação com o desenvolvimento da tecnologia assistiva Math2Text para auxiliar o ensino de matemática inclusiva.

4.3 O CONCEITO DE COMPENSAÇÃO E MEDIAÇÃO NA TEORIA DE VIGOTSKI

Em sua teoria, Vigotski defende que a constituição do sujeito é produto de interações sociais, históricas, e propõe a compreensão de que a deficiência também é produto social. Neste sentido, a falta de visão foi considerada como deficiência e, por muito tempo, a história da cegueira foi vista e analisada dentro desta perspectiva (VIGOTSKI, 1989). Especificamente em relação ao sujeito cego, aponta Vigotski (1989, p. 61):

A cegueira por si só não faz de uma criança uma pessoa com defeito, não é uma deficiência, isto é, uma insuficiência, uma disvalia, uma enfermidade. A cegueira se converte em uma deficiência somente em certas condições sociais da existência do cego. A cegueira é o signo da diferença entre sua conduta e a conduta das demais pessoas.

Durante a vida de um indivíduo cego, a cegueira é confirmada não pelas questões biológicas que o impendem de enxergar, e sim pelo modo como a sociedade o trata, considerando uma desvantagem em relação aos demais. Assim, Vigotski defende a educação inclusiva e a acessibilidade para todos, pois, devido ao processo criativo e de interações, o homem pode ter uma ação indireta, planejada, tendo ou não deficiência.

Logo, pessoas com deficiência visual, surdez e outras deficiências podem se desenvolver, desde que recebam os recursos necessários que lhes permitam o acesso, o domínio e a superação dos saberes.

O indivíduo cego pode se desenvolver, assim como as pessoas que enxergam, utilizando-se de outras vias de acesso às informações. Na Teoria da Compensação, numa das teses do trabalho de Vigoytski sobre Defectologia, o limite biológico não é o que determina o não desenvolvimento da pessoa surda ou cega e, sim, a sociedade, que cria limites que impedem o seu desenvolvimento (VIGOTSKI, 1997).

Por meio da Teoria da Compensação, Vigotski (1997) aduz que é possível encontrar elementos que permitem guiar o processo de inclusão e investigação em sala de aula em diferentes prismas, possibilitando que uma criança com deficiência seja capaz de se desenvolver, usando meios alternativos, denominados “processos compensatórios”.

A particularidade positiva da criança com deficiência também se origina, primeiramente, não porque nela desapareceram uma ou outras funções observadas em uma criança não deficiente, mas porque essa desapareição das funções faz que surjam novas formações que representam, em sua unidade, uma reação da personalidade diante da deficiência, a compensação no processo de desenvolvimento. Se uma criança cega ou surda alcança, no desenvolvimento, o mesmo que uma criança sem deficiência, então as crianças com deficiência atingem de um modo diferente, por outra via, com outros meios e para o pedagogo é muito importante conhecer a peculiaridade da via pela qual ele deve conduzir a criança (VIGOTSKI, 1997, p. 7).

Nesse viés, a Teoria da Compensação fornece bases para compreender as problemáticas na relação entre inclusão, o processo de ensino e aprendizagem, as

compensações e o uso de tecnologia como ferramenta mediadora, no sentido de focar em vias alternativas de aprendizagem dos alunos com deficiência, o que possibilitará o uso da tecnologia como meio/recurso para elaboração e adaptação de materiais didáticos.

Especificamente, no caso da cegueira, a falta de visão provoca uma reestruturação no organismo da pessoa, de modo que ele faz uso de outros canais para receber e processar a informação, como a audição e o tato.

Neste sentido, também se aplica o conceito de mediação proposto por Vigotski, envolve, segundo ele, a utilização de um elemento intermediário numa relação. Para o autor, a relação do homem com o mundo não é uma relação direta, mas mediada e complexa, que se realiza através de dois tipos de mediadores: os instrumentos e os signos (VIGOTSKI, 1989).

Os instrumentos são elementos auxiliares ao homem no seu trabalho, possuindo a função de provocar mudanças no objeto do trabalho, de controlar processos da natureza. Assim, o instrumento é um elemento externo ao indivíduo, voltado para fora dele, a exemplo dos instrumentos utilizados pelos professores em sala de aula: vídeos, slides, equipamentos laboratoriais, entre outros (VIGOTSKI, 1989).

Os signos foram concebidos por Vigotski como “instrumentos psicológicos” orientados para o próprio sujeito, para dentro do indivíduo, dirigindo-se ao controle de ações psicológicas.

A invenção e o uso de signos como meios auxiliares para solucionar um dado problema psicológico (lembrar, comparar coisas, relatar, escolher, etc.) é análoga à invenção e uso de instrumentos, só que agora no campo psicológico. O signo age como um instrumento da atividade psicológica de maneira análoga ao papel de um instrumento no trabalho (VIGOTSKI, 1989, p.70).

Entre os signos, estão incluídos a linguagem, os vários sistemas de contagem, os simbólicos algébricos, os esquemas, os diagramas, mapas, desenhos, placas de trânsito, gestos e todo tipo de signos convencionais utilizados nos diferentes grupos sociais (VIGOTSKI, 1997). Portanto, os instrumentos e os signos promovem, para Vigotski (1997), a mediação na aprendizagem, que impulsiona o desenvolvimento. Entretanto, as limitações da pessoa com deficiência tendem a tornar-se uma barreira para esses processos de significação do mundo por meio da mediação do outro.

Isto posto, para a psicologia histórico-cultural abordada por Vigotski, a deficiência não é apenas do sujeito, mas resultado da interação das limitações do sujeito com as barreiras impostas pelo ambiente físico e cultural no qual ele vive (KRANZ, 2015). Essa abordagem conversa com os estudos de Defectologia de Vigotski, já citados anteriormente, onde relacionam-se os limites biológicos (defeito primário) e o contexto histórico-cultural social (defeito secundário), incluindo a escola, com uma expectativa negativa dos professores acerca da aprendizagem de seus alunos com deficiência, uma vez que a limitação, que é do sujeito, impede-o de aprender, o que tem reflexos no trabalho pedagógico desenvolvido.

Porém, como já discutido, o desenvolvimento da pessoa com deficiência não depende diretamente do seu defeito primário, pelo contrário, “[...] o desenvolvimento cultural é a esfera mais importante onde é possível compensar a insuficiência. Ali onde o desenvolvimento orgânico resulta impossível, há infinitas possibilidades para o desenvolvimento cultural” (VIGOTSKI, 1997, p. 313).

Vigotski enfatiza a importância da ação, da linguagem e dos processos interativos na construção das estruturas mentais superiores, assim, o acesso aos recursos oferecidos influencia determinantemente nos processos de aprendizagem da pessoa (GALVÃO FILHO, 2009).

Contudo, as limitações da pessoa com deficiência tendem a tornar-se uma barreira à aprendizagem, de modo que desenvolver a área da tecnologia assistiva e recursos de acessibilidade torna-se uma maneira concreta de diminuir as barreiras causadas pela deficiência e inserir a pessoa nos ambientes para a aprendizagem, proporcionados pela cultura, e é nesse sentido que o desenvolvimento do Math2Text ocorre.

Nesta visão, uma educação inclusiva deve se orientar por uma concepção de diferença organizada em questionamentos sobre sua produção cultural e social, na sua mudança constante e na valorização de produção de ambientes estimulantes, desafiadores e participativos para todos os envolvidos (KRANZ, 2015).

No próximo capítulo, serão abordados os conceitos de DU e acessibilidade, os quais regeram o desenvolvimento da tecnologia assistiva Math2Text.

5 DESIGN NA CONSTRUÇÃO DA TECNOLOGIA ASSISTIVA MATH2TEXT

No desenvolvimento de tecnologia assistiva Math2Text e qualquer outra tecnologia, faz-se necessário compreender os conceitos e ajustar as especificações do DU, do design, da usabilidade e da acessibilidade, visando alcançar o máximo de pessoas possíveis, independentemente se possuem deficiência declarada ou não.

O DU define-se como o “design de produtos e ambientes a serem utilizados na maior extensão possível por pessoas de todas as idades e habilidades.” (CUD, 1988, tradução livre), respeitando-se a diversidade humana e promovendo a inclusão de todas as pessoas, em todas as atividades da vida. Em vista disso, neste trabalho o DU é entendido como uma possibilidade de se criarem recursos acessíveis para todos, quebrando-se barreiras, pautando o desenvolvimento de uma Tecnologia Assistiva. Por isso, considera-se que a proposta da Tecnologia Assistiva Math2Text, presente neste trabalho, seria uma forma efetiva de neutralizar as barreiras causadas pela deficiência ao se inserir esse indivíduo nos ambientes para a aprendizagem e desenvolvimento.

Assim, nesta seção serão abordados os conceitos de DU e sua relação com o desenvolvimento de tecnologias; o design instrucional; a usabilidade e a acessibilidade, pois entende-se que os quatro caminham juntos, quando se trata de Tecnologia Assistiva.

5.1 DESENHO UNIVERSAL

A expressão *Universal Design* (Desenho Universal) foi usada pela primeira vez em 1985, nos Estados Unidos, pelo arquiteto Ron Mace, e foi se desenvolvendo entre os profissionais da área de arquitetura na Universidade da Carolina do Norte - EUA, influenciando uma mudança de paradigmas, nas mais diversas áreas, com o objetivo de definir um projeto de produtos e ambientes para serem usados por todos, sem necessidade de adaptação ou projeto especializado para pessoas com deficiência (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010).

O conceito do DU surgiu a partir de reivindicações das pessoas com deficiência que não consideram que suas necessidades estavam sendo contempladas nos espaços projetados e construídos, e pelos profissionais (arquitetos, engenheiros, urbanistas e designers) que desejavam maior democratização do uso dos espaços e

tenham uma visão mais abrangente da atividade projetual (MACE; HARDIE; PLACE, 1991).

Desde então, o conceito tem se difundido e usado mundialmente. No Brasil, é citado no Decreto Nº 5.296, de 02 de dezembro de 2004, em seu Art. 8º, que dispõe das condições gerais da acessibilidade, em seu inciso IX, que considera DU como:

Concepção de espaços, artefatos e produtos que visam atender simultaneamente todas as pessoas, com diferentes características antropométricas e sensoriais, de forma autônoma, segura e confortável, constituindo-se nos elementos ou soluções que compõem a acessibilidade (BRASIL, 2004).

Em outras palavras, com base nas definições apresentadas, pode-se dizer que, quando são pensadas em estruturas concebidas, projetadas e construídas para acomodar todas as pessoas, incluindo aqueles com deficiência, está sendo buscado o desenho universal.

Ron Mace (MACE; HARDIE; PLACE, 1991) também definiu sete princípios para estruturar o conceito de Desenho Universal. São eles:

1. Equiparação nas possibilidades de uso: o design é útil e comercializável às pessoas com habilidades diferenciadas.
2. Flexibilidade no uso: o design atende a uma ampla gama de indivíduos, preferências e habilidades.
3. Uso Simples e intuitivo: o uso do design é de fácil compreensão.
4. Captação da informação: o design comunica eficazmente, ao usuário, as informações necessárias.
5. Tolerância ao erro: o design minimiza o risco e as consequências diversas de ações involuntárias ou imprevistas.
6. Mínimo esforço físico: o design pode ser utilizado de forma eficiente e confortável.
7. Dimensão e espaço para uso e interação: o design oferece espaços e dimensões apropriados para interação, alcance, manipulação e uso. (INR, 2020).

A partir desses conceitos e diretrizes, Galvão Filho (2009, p.144) afirma que o conceito de desenho universal é importante para a discussão e criação de Tecnologia Assistiva, pois “devem ser concebidas, projetadas, com vistas à participação, utilização e acesso de todas as pessoas”.

O autor também explicita que, ao se projetar algo, independentemente do que seja, deve-se possibilitar que seja utilizado por todas as pessoas, com ou sem limitações.

Essa concepção, portanto, transcende a ideia de projetos específicos, adaptações e espaços segregados, que respondam apenas a determinadas necessidades. Por exemplo, para superar a ideia de se projetarem banheiros adaptados e especiais para pessoas com deficiência, que se projetem banheiros acessíveis a todas as pessoas, com ou sem deficiência. Ou, então, quando se projeta um software aplicativo para realizar determinada atividade, que nele estejam previstos recursos que o torne acessível também a pessoas com diferentes limitações, motoras ou sensoriais. (GALVÃO FILHO, 2009, p. 144).

A compreensão destes conceitos e princípios é fundamental para a mudança de paradigma ao se desenvolver qualquer produto, levando a experiências e metodologias voltadas à democratização para todos os usuários.

Porém, é necessário entender outros conceitos relacionados ao DU, tal como a Usabilidade e a Acessibilidade. Na próxima seção, serão explicados e relacionados tais conceitos.

5.2 CONCEITO DE ACESSIBILIDADE E USABILIDADE

A acessibilidade preocupa-se com a qualidade do acesso para qualquer pessoa, ao passo que a usabilidade complementa a acessibilidade, pois, uma vez garantido o acesso, são propostas melhorias de qualidade de uso, todos relacionados com o desenho universal, que se preocupa em garantir o acesso a todos.

Conceituando, a partir do dicionário Michaelis (“2018), acessibilidade é definida como “Facilidade de acesso; qualidade do que é acessível” e “Facilidade de aproximação, de procedimento ou de obtenção”. O Decreto Federal nº 5.296/2004, em seu artigo 8º (BRASIL, 2004), parágrafo I, estabelece a acessibilidade como:

I – acessibilidade: condição para utilização, com segurança e autonomia, total ou assistida, dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos serviços de transporte e dos dispositivos, sistemas e meios de comunicação e informação, por pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida; [...]

Esta definição apresenta uma lista abrangente dos objetos aos quais se aplica a acessibilidade, englobando desde edificações até meios de comunicação, ainda que

focada em espaços e serviços coletivos. Ressalta adequadamente que a utilização deve se dar com segurança e autonomia, porém restringe sua abrangência à pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida, no lugar de aplicá-la a todas as pessoas. Além disso, utiliza a denominação “pessoa portadora de deficiência”, termo não utilizado atualmente.

A norma Brasileira ABNT NBR 9050 (ABNT, 2004) define, em seu item 3.1: “Acessibilidade: Possibilidade e condição de alcance, percepção e entendimento para a utilização com segurança e autonomia de edificações, espaço, mobiliário, equipamento urbano e elementos”.

A principal contribuição desta definição é ressaltar a importância dos aspectos de alcance, percepção e entendimento, num viés de rompimento de barreiras físicas.

Outro ponto importante na conceituação foi a Convenção Internacional Sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, adotada pela ONU em 30 de março de 2007, em Nova York, e ratificada pelo Decreto Federal nº 6.949 de 25 de agosto de 2009, estabelece em seu artigo 9º, item 1:

A fim de possibilitar às pessoas com deficiência viver com autonomia e participar plenamente de todos os aspectos da vida, os Estados Partes deverão tomar as medidas apropriadas para assegurar-lhes o acesso, em igualdade de oportunidades com as demais pessoas, ao meio físico, ao transporte, à informação e comunicação, inclusive aos sistemas e tecnologias da informação e comunicação, bem como a outros serviços e instalações abertos ou propiciados ao público, tanto na zona urbana como na rural.

Esta definição tem a virtude de ressaltar alguns pontos importantes, como a vida independente, a participação plena e o acesso em igualdade de oportunidades; porém, restringe sua abrangência a equipamentos e serviços públicos e às pessoas com deficiência.

Como já exposto na seção sobre o conceito de deficiência, essa evolução também atingiu o conceito de acessibilidade através da Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência) (BRASIL, 2015), nesta normativa acessibilidade, em seu Art. 3º, é definida como

I - acessibilidade: possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, de espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, edificações, transportes, informação e comunicação, inclusive seus sistemas e tecnologias, bem como de outros serviços e instalações abertos ao público, de uso público ou privados de uso coletivo, tanto na zona urbana como na rural, por pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida; [...]

Assim, não apenas inserir um novo conceito, a normativa reafirma que a deficiência não pode ser vista como algo somente da pessoa, e, sim, algo coletivo, em que a sociedade deve ser responsável por eliminar as barreiras existentes no ambiente e por criar meios, recursos que possibilitem a plena participação das pessoas com deficiência.

Neste sentido do papel da sociedade, para embasá-lo, a normativa traz os conceitos de desenho universal, tecnologia assistiva e barreiras, são definidas, no Art. 3º no item IV, como:

IV - barreiras: qualquer entrave, obstáculo, atitude ou comportamento que limite ou impeça a participação social da pessoa, bem como o gozo, a fruição e o exercício de seus direitos à acessibilidade, à liberdade de movimento e de expressão, à comunicação, ao acesso à informação, à compreensão, à circulação com segurança, entre outros, classificadas em:

- a) barreiras urbanísticas: as existentes nas vias e nos espaços públicos e privados abertos ao público ou de uso coletivo;
- b) barreiras arquitetônicas: as existentes nos edifícios públicos e privados;
- c) barreiras nos transportes: as existentes nos sistemas e meios de transportes;
- d) barreiras nas comunicações e na informação: qualquer entrave, obstáculo, atitude ou comportamento que dificulte ou impossibilite a expressão ou o recebimento de mensagens e de informações por intermédio de sistemas de comunicação e de tecnologia da informação;
- e) barreiras atitudinais: atitudes ou comportamentos que impeçam ou prejudiquem a participação social da pessoa com deficiência em igualdade de condições e oportunidades com as demais pessoas;
- f) barreiras tecnológicas: as que dificultam ou impedem o acesso da pessoa com deficiência às tecnologias [...]

Isso demonstra a amplitude do conceito de acessibilidade, norteadas as ações nas diversas áreas, a fim de assegurar e promover, em condições de igualdade, o exercício dos direitos e das liberdades fundamentais da pessoa com deficiência, visando à sua inclusão social e cidadania.

Entendido o conceito de acessibilidade, é importante compreender que a usabilidade tem relação com a melhoria no uso, e, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 9241-11 (ABNT, 2011), a usabilidade é a “medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto de uso específico”.

Já Nielsen (2012) considera que usabilidade é a característica que determina se o manuseio de um produto é fácil e rapidamente aprendido, dificilmente esquecido, não provoca erros operacionais, oferece alto grau de satisfação para seus usuários e,

eficientemente, resolve as tarefas para as quais ele foi projetado. O autor também conceitua usabilidade, na visão da engenharia de usabilidade, como sendo um conjunto de cinco fatores que qualificam a interação do usuário com o sistema:

- Facilidade de aprendizado: se refere ao tempo e esforço necessários para que o usuário aprenda a utilizar o sistema com determinado nível de competência e desempenho;
- Facilidade de recordação: diz respeito ao esforço cognitivo do usuário, necessário para lembrar como interagir com a interface do sistema, conforme aprendido anteriormente;
- Eficiência: está relacionada ao tempo necessário para a conclusão de uma atividade com o apoio computacional;
- Segurança no uso: grau de proteção de um sistema contra condições desfavoráveis ou até mesmo perigosas para o usuário (segurança);
- Satisfação do usuário: uma avaliação subjetiva que expressa o efeito do uso do sistema sobre as emoções e sentimentos do usuário.

A partir desses preceitos, Nielsen (2012) insere o conceito da Engenharia da Usabilidade, o qual trata a usabilidade como um processo interativo que envolve o usuário em suas fases e onde cada fase gera um artefato, um processo centrado no usuário.

Assim, a usabilidade também é importante na interação do humano com os artefatos computacionais, principalmente no desenvolvimento de softwares com boas experiências, colocando o usuário e o emprego que ele faz de um dispositivo ou sistema interativo no foco das atividades (CYBIS; BETIOL; FAUST, 2017).

Essas características são genericamente rotuladas de “centradas no usuário”, possuindo atributos próprios definidos através de uma metodologia, a qual será abordada na próxima seção deste estudo e foi a utilizada no processo de busca de soluções da Tecnologia Assistiva desenvolvida.

5.3 METODOLOGIA DO DESIGN CENTRADO NO USUÁRIO (DCU)

A DCU, de acordo com a norma ISO 9241-210 (2019), parte da identificação da necessidade de desenvolvimento de um sistema, produto ou serviço e da decisão de usar o DCU. Dessa forma, seguem-se as seguintes etapas/atividades:

- a) compreender e especificar o contexto de uso;
- b) especificar os requisitos do usuário;
- c) produção de soluções de design;
- d) avaliar o projeto.

Essas etapas levam em consideração alguns desafios, citados na norma ISO 9241-210 (2019), quais sejam:

- Geralmente, existem vários grupos de usuários diferentes e outras partes interessadas, cujas necessidades precisam ser levadas em consideração no desenvolvimento do produto.
- O contexto de uso pode ser altamente diversificado e variar de usuário para usuário e entre tarefas diferentes.
- No início do projeto, o levantamento dos requisitos pode ser exaustivo.
- Alguns requisitos surgirão apenas quando a solução proposta é disponibilizada aos usuários.
- Os requisitos do usuário podem ser diversos e potencialmente contraditórios entre si e com os de outras partes interessadas.
- Os protótipos iniciais raramente atenderão a todas as necessidades dos usuários.
- É difícil garantir que todas as partes do sistema sejam consideradas de maneira integrada.

Em alto nível, as atividades de design centradas no usuário do projeto correspondem aos estágios gerais de design e desenvolvimento, desde os requisitos até o design, seguidos da verificação e validação. Porém, em nível mais detalhado, essas atividades podem ser aplicadas para se obter feedback sobre os conceitos iniciais de design antes da finalização dos requisitos.

A avaliação de protótipos e modelos aproximados de projetos em potencial ajudará a obter uma compreensão mais profunda das necessidades do usuário, além de fornecer feedback inicial sobre os conceitos de design.

6 TECNOLOGIAS DIGITAIS E ASSISTIVAS: CARACTERÍSTICAS E EDUCAÇÃO MATEMÁTICA

6.1 AS FASES DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS E A EDUCAÇÃO MATEMÁTICA

As tecnologias digitais fazem parte da sociedade atual, sendo expressas em seus diversos equipamentos, computadores, notebooks, dispositivos móveis (celulares, tablets, *smartwatch*), dentre outros, impactando e modificando as relações sociais, a comunicação, o compartilhamento de informações, a maneira de pensar e atuar na sociedade (NERY; SÁ, 2020).

Com essas tecnologias, diversos recursos interativos surgiram, tais como jogos, redes sociais, compartilhamentos de arquivos, streaming etc., de forma que tais tecnologias e recursos também impactaram os processos de ensino e aprendizagem (NERY; SÁ, 2020). Porém, esse impacto não ocorre somente na atualidade, haja vista que o surgimento das tecnologias digitais foi datado por Borba, Silva e Gadanidis (2014) como tendo início em 2004, com o advento da internet rápida. Os autores discutem essas tecnologias na Educação Matemática, dividindo-as em quatro fases não disjuntas, com muitas similaridades e particularidades.

A primeira fase ocorre na década de 80, quando já se falavam de Tecnologias Informáticas ou Tecnologias da Informação (TI), sendo marcada por estudos com computadores, calculadoras simples e científicas, e com o software LOGO. Nesta fase, também existiram discussões sobre o uso de computadores em sala de aula, com a possibilidade de implementar laboratórios de informática nas escolas (BORBA; SILVA; GADANIDIS, 2014).

A segunda fase inicia-se nos anos 1990 e é marcada pela popularização e acesso aos computadores pessoais, o que levou ao surgimento de novas tecnologias voltadas à representação gráfica de funções, como as calculadoras gráficas e os softwares educacionais de múltiplas representações de funções, permitindo que construções geométricas fossem visualizadas, dinamizadas e experimentadas (BORBA; SILVA; GADANIDIS, 2014).

Com o avanço da internet do Brasil e o do acesso ao computador, a terceira fase inicia-se no final da década de 1990, quando se começa a utilizar a internet como meio de comunicação e fonte de informações, possibilitando colaboração online, surgimento de comunidades de aprendizagem e o avanço da Educação a distância.

É nesta fase também que o termo Tecnologias da Informação (TI) começa a ser substituído por Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), em vista das explorações de novas possibilidades de comunicação online, como e-mails, chats e fóruns (BORBA; SILVA; GADANIDIS, 2014).

Já a quarta fase, iniciada em meados de 2004, é caracterizada pelo acesso rápido à internet, desenvolvimento e aprimoramento da infraestrutura, recursos e formas de comunicação. Avanços observados com a utilização de celulares, tablets, interatividade, multimodalidade, os quais indicam a utilização do termo Tecnologias Digitais (TD), por ser mais abrangente do que as TIC, uma vez que, além de considerar a informação e comunicação, também está voltado para produção e compartilhamento de vídeos, ambientes virtuais de aprendizagem, aplicativos, objetos virtuais de aprendizagem, conferências virtuais, dentre outros (BORBA; SILVA; GADANIDIS, 2014).

Diante dessa realidade, assume-se que o ensino de Matemática vai além da sala de aula, com as discussões e conhecimentos ultrapassando fronteiras e limites que até então eram inalcançáveis, abrindo um “leque de possibilidades e ampliando os horizontes na esfera dos processos de ensino e aprendizagem de Matemática” (NERY; SÁ, 2020, p.8).

Para ultrapassar as fronteiras e limites citados e considerando que as TD e a internet podem contribuir para acelerar o desenvolvimento humano, mudando a forma de pensar e agir, quebrando paradigmas, corroborando Souto e Borba (2016, p.3):

No entanto, a internet vem, sem pedir licença e em uma velocidade exponencial, ganhando espaço na Educação, em particular, na sala de aula. Com isso, ela desestabiliza algumas de nossas crenças, porque gera mudanças em regras socialmente convencionadas que dizem respeito aos papéis que cada ator “pode” ou “deve” desempenhar no processo de produção de conhecimento.

Por conseguinte, é preciso rever os papéis dos atores, refletindo-se sobre o processo de produção de conhecimento, tornando-se crucial que todas as tecnologias e possibilidades estejam ao alcance de todas as pessoas e promovam a inclusão, o bem-estar e o desenvolvimento da sociedade como um todo.

Neste sentido, a partir das fases, do contexto de evolução das tecnologias e possibilidades apresentadas, torna-se necessário que os recursos sejam acessíveis a

todos, seguindo as premissas do desenho universal e incluindo-se a tecnologia assistiva.

6.2 TECNOLOGIA ASSISTIVA

Conforme já exposto, o avanço tecnológico facilitou a vida de todas as pessoas, o que não seria diferente para as pessoas com deficiência. Diversos produtos e serviços foram desenvolvidos para facilitar a quebra das barreiras que impedem a igualdade de oportunidades e, nesse contexto, inserem-se a tecnologia assistiva.

O conceito e contexto da tecnologia assistiva se relacionam e complementam os de Desenho universal, usabilidade e acessibilidade, porém, é importante entender a diferença que há entre tecnologia assistiva e desenho universal.

A tecnologia assistiva (TA) atua como um importante complemento ao desenho universal. Enquanto o desenho universal tem como objetivo oferecer uma solução abrangente, que atenda a todos, a TA visa criar uma solução específica para atender as particularidades de um indivíduo (SILVA; GIL, 2018). Para exemplificar, as autoras comparam os dois conceitos. Por exemplo, é considerado desenho universal um edifício com rampas e elevadores acessíveis ou uma página web que segue padrões de acessibilidade; por sua vez, tecnologia assistiva seria, por exemplo, uma cadeira de rodas customizada ou um aparelho de amplificação sonora individual.

Para entender a TA melhor, é preciso explorar esses conceitos e suas categorizações. No Brasil, o termo consta na Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência), sendo definida no seu Art. 3º item III:

III - tecnologia assistiva ou ajuda técnica: produtos, equipamentos, dispositivos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivem promover a funcionalidade, relacionada à atividade e à participação da pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida, visando à sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (BRASIL, 2015).

De acordo com o Relatório Mundial sobre a Deficiência, publicado pela Organização Mundial da Saúde e pelo Banco Mundial (OMS, 2011), TA é “qualquer item, parte de equipamento ou produto, adquirido no comércio ou adaptado ou

modificado, usado para aumentar, manter ou melhorar a capacidade funcional de pessoas com deficiência”.

Segundo Bersh (2017), a TA é um termo utilizado para identificar recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência e, conseqüentemente, promover uma vida independente dessas pessoas. A autora, com base em diretrizes internacionais, tais como as da ADA - *American with Disabilities Act* (BRENNAN, 2013), categoriza a TA da seguinte forma:

1. **Auxílios para a vida diária e vida prática:** Materiais e produtos para auxílio em tarefas rotineiras tais como comer, cozinhar, vestir-se, tomar banho e executar necessidades pessoais, manutenção da casa etc.;
2. **CAA - 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. São muito utilizadas as pranchas de comunicação com os símbolos PCS ou Bliss além de vocalizadores e softwares dedicados para este fim.
3. **Recursos de acessibilidade ao computador:** Equipamentos de entrada e saída (síntese de voz, braile), auxílios alternativos de acesso (ponteiros de cabeça, de luz), teclados modificados ou alternativos, acionadores, softwares especiais (de reconhecimento de voz etc.), leitores de tela, que permitem as pessoas com deficiência a usarem o computador.
4. **Sistemas de controle de ambiente:** Sistemas eletrônicos que permitem as pessoas com limitações moto locomotoras, controlar remotamente aparelhos eletroeletrônicos, sistemas de segurança, entre outros, localizados em seu quarto, sala, escritório, casa e arredores.
5. **Projetos arquitetônicos para acessibilidade:** Adaptações estruturais e reformas na casa e/ou ambiente de trabalho, através de rampas, elevadores, adaptações em banheiros entre outras, que retiram ou reduzem as barreiras físicas, facilitando a locomoção da pessoa com deficiência.
6. **Órteses e prótese:** Troca ou ajuste de partes do corpo, faltantes ou de funcionamento comprometido, por membros artificiais ou outros recursos ortopédicos (talas, apoios etc.). Inclui-se os protéticos para auxiliar nos

déficits ou limitações cognitivas, como os gravadores de fita magnética ou digital que funcionam como lembretes instantâneos.

7. **Adequação Postural:** Adaptações para cadeira de rodas ou outro sistema de sentar visando o conforto e distribuição adequada da pressão na superfície da pele (almofadas especiais, assentos e encostos anatômicos), bem como posicionadores e contentores que propiciam maior estabilidade e postura adequada do corpo através do suporte e posicionamento de tronco/cabeça/membros.
8. **Auxílios de mobilidade:** Cadeiras de rodas manuais e motorizadas, bases móveis, andadores, scooters de 3 rodas e qualquer outro veículo utilizado na melhoria da mobilidade pessoal.
9. **Auxílios para cegos ou para pessoas com visão normal:** Auxílios para grupos específicos que inclui lupas e lentes, braile para equipamentos com síntese de voz, leitores de tela, grandes telas de impressão, sistema de TV com aumento para leitura de documentos, publicações etc.
10. **Auxílios para pessoas com surdez ou com déficit auditivo:** Auxílios que inclui vários equipamentos (infravermelho, FM), aparelhos para surdez, telefones com teclado — teletipo (TTY), sistemas com alerta tátil-visual, entre outros.
11. **Adaptações em veículos:** Acessórios e adaptações que possibilitam a condução do veículo, elevadores para cadeiras de rodas, camionetas modificadas e outros veículos automotores usados no transporte pessoal.
12. **Esporte e Lazer:** Recursos que favorecem a prática de esporte e participação em atividades de lazer.

Observando-se as categorizações, é possível afirmar que as TA visam atender a um público-alvo constituído por pessoas com limitações funcionais – físicas ou sensoriais (QUEIROZ, 2019), que se enquadrem em alguma dessas categorias. Porém, nosso entendimento é de que essas tecnologias auxiliam todas as pessoas, mesmo as que não possuem deficiência declarada, pois elas podem apresentar algum tipo de incapacidade ou dificuldade ao realizar determinada tarefa, a qual pode ser auxiliada pela TA.

Assim, voltando ao exemplo do início desta seção, é possível afirmar que a tecnologia assistiva é um degrau para atingir a acessibilidade por meio do desenho universal. Por exemplo, uma pessoa com deficiência física pode ter uma cadeira de rodas, mas se o restaurante que ela deseja ir não possuir rampa, não foi pensado com o DU, impõe-se aí a falta de acessibilidade.

Esses conceitos e categorizações da TA são aplicados em diversas áreas. Para a pesquisa aqui realizada, destacam-se as TA categorizadas como o item “3. Recursos de acessibilidade ao computador”. Para tanto, é preciso compreender tecnologia assistiva no âmbito da Web.

Ferraz (2020), em seu livro *Acessibilidade na Web*, traz essa compreensão referindo que tecnologia assistiva compreende recursos de hardware e software que permitem o acesso de pessoas com deficiência ao dispositivo computacional e à Web”. O autor também destaca que os recursos de tecnologia assistiva vão desde “displays braile, que exibem o texto da tela em uma régua próxima ao teclado com pinos que representam o alfabeto braile, até software de ampliação de tela ou contraste”, e traz o conceito de Acessibilidade na WEB e Virtual, estendendo para a internet e sistemas de informação as possibilidades de acesso a todos.

Neste sentido, a acessibilidade virtual é uma forma de tornar uma tecnologia digital fácil de ser usada por qualquer pessoa, independentemente de sua condição física, sensorial, cognitiva, social ou condição de trabalho, podendo ser aplicada em diferentes setores.

Na próxima seção, serão explorados com mais detalhes os conceitos e as aplicações da Acessibilidade Virtual.

6.2.1 Acessibilidade Virtual

Na seção anterior, destacou-se a classificação da tecnologia assistiva e contextualizou-se com a acessibilidade virtual e Web, que se caracteriza como um meio de superação de barreiras tecnológicas que dificultam ou impedem o acesso da pessoa com deficiência às tecnologias.

Segundo o World Wide Web Consortium (W3C BRASIL, 2013), a acessibilidade virtual está relacionada à capacidade de sua utilização por pessoas com deficiência, permitindo que estes usuários sejam capazes de perceber os conteúdos, compreendê-los, realizar atividades de navegação e interação, bem como

criar conteúdo na web. Entretanto, os sites, de forma geral, apresentam barreiras de acessibilidade, as quais variam conforme o perfil do usuário a acessá-lo.

De acordo com o eMAG 3.1 (BRASIL, 2014), dentre as situações vivenciadas por usuários com deficiência no acesso ao computador, as quatro principais são: ausência de mouse, teclado, monitor ou áudio. Diante dessas situações, as pessoas com deficiência encontram barreiras de acessibilidade que dificultam ou até mesmo impossibilitam o acesso ao conteúdo da maioria das páginas da Web.

A fim de evitar essas barreiras, existem recomendações de acessibilidade, tais como a WCAG (CALDWELL *et al.*, 2008) e o Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico (eMAG). As WCAG (*Web Content Accessibility Guidelines*) são recomendações de acessibilidade para conteúdo da Web, ou seja, são diretrizes que explicam como tornar o conteúdo Web acessível a todas as pessoas.

Essas recomendações foram desenvolvidas pelo consórcio W3C através do WAI (Iniciativa de Acessibilidade na Web) (W3C, 2016), em colaboração com pessoas e organizações em todo o mundo e hoje encontram-se na versão 2.0.

A observação destes padrões também facilita o acesso ao conteúdo da Web, independentemente da ferramenta utilizada (navegadores Web para computadores de mesa, laptops, telefones celulares, ou navegador por voz) e de certas limitações técnicas, como, por exemplo, uma conexão lenta, a falta de recursos de mídia etc. (BRASIL, 2014).

Um dos recursos descritos na WCAG é o MathML, uma linguagem de marcação utilizada em softwares e no desenvolvimento de ferramentas para atividades em estatística, engenharia, ciência, computação e expressões acadêmicas da matemática na Web. A Linguagem para Matemática é uma maneira de descrever em XML apresentações visuais de fórmulas (com símbolos matemáticos e estilos de fontes com expressões interpretadas) e sua semântica (com referências às áreas diferentes da matemática) (W3C BRASIL, 2013).

Sendo assim, garantir a acessibilidade na Web é permitir que qualquer indivíduo, utilizando qualquer tecnologia de navegação, visite qualquer sítio e obtenha completo entendimento das informações contidas nele, além de ter total habilidade de interação.

Como discutido em seções anteriores, a acessibilidade virtual inclui-se na classificação da tecnologia assistiva, encaixando-se no item 3. *Recursos de acessibilidade ao computador*, o qual possui diferentes recursos, tais como

equipamentos de entrada e saída (síntese de voz, braile), teclados modificados ou alternativos, leitores de tela dentre outros.

A tecnologia assistiva Math2Text desenvolvida neste trabalho possui relação direta com os leitores de tela, assim sendo, na próxima seção serão explorados os conceitos inerentes a esse recurso.

6.2.2 Leitores de tela

A partir da categorização da tecnologia assistiva, apresentadas na seção anterior, para o âmbito desta pesquisa, destacam-se as categorias 3 e 9: “Recursos de acessibilidade ao computador” e “Auxílios para cegos ou para pessoas com visão normal”.

Estas categorias trazem algumas tecnologias e ferramentas, nesta subseção será focado nos Leitores de tela, softwares que fornecem informações através de síntese de voz sobre os elementos exibidos na tela do computador (BRASIL, 2014), utilizado principalmente por deficientes visuais.

O leitor de tela percorre textos e imagens, lendo em voz alta tudo o que ele encontra na tela e que possua descrição textual, assim como as operações que o usuário realiza com as teclas alfanuméricas e os comandos digitados.

Existem diversos softwares leitores de tela disponíveis no mercado, (TEIXEIRA; MOREIRA; JUNIOR, 2018), destacam-se Virtual Vision, Jaws, NVDA, Narrador, Zoom Text/Fusion, ChromeVox, mas também vale destacar os leitores integrados em dispositivos móveis, como o VoiceOver e o TalkBack, além do Dosvox, sendo este um sistema operacional especializado com um leitor de tela integrado.

O Virtual Vision, software nacional, teve seu desenvolvimento iniciado em 1997 pela MicroPower, sendo sua primeira versão lançada em 1998. A história que motivou o desenvolvimento deste software é muito relevante, pois, em 1995, o Banco Bradesco recebeu uma carta de um cliente com deficiência visual, o qual precisava acessar sua conta através da Internet da mesma forma que os demais clientes. Tal demanda originou uma parceria entre a Scopus (empresa do grupo Bradesco para o desenvolvimento de sistemas de informação) e a MicroPower (NASCIMENTO, 2012).

A primeira versão foi lançada em 1998, mesmo ano em que o Banco Bradesco lançaria a primeira versão do seu internet banking para pessoas com

deficiência visual. O Virtual Vision possui atualização até os dias de hoje e é um software pago.

O JAWS (*Job Access With Speech*) é um software com licença paga, lançado em 1989 nos Estados Unidos, e é considerado o leitor de tela do Windows mais popular do mundo, constituindo uma das principais aplicações leitoras de tela usada em escala mundial. Foi desenvolvido para usuários de computadores cuja perda de visão os impede de ver o conteúdo da tela ou navegar com o mouse. Ele fornece saída de fala e braile para os aplicativos de computador mais populares do computador, possibilitando navegar na Internet, escrever um documento, ler um e-mail e criar apresentações. Atualmente, é comercializado pela Freedom Scientific, que além do JAWS, também comercializa o ZoomText (ampliador de tela) e o Fusion.

O Fusion é uma ferramenta de acessibilidade para indivíduos com qualquer nível de deficiência visual que possibilita unir os recursos de ampliação de tela e aprimoramentos visuais do ZoomText e a funcionalidade de leitura de tela do JAWS (ZOOMTEXT, 2021).

O NVDA (*NonVisual Desktop Access*) foi iniciado por Michael Curran, tendo o seu desenvolvimento concluído em 2006 pela NV Access, organização australiana sem fins lucrativos. É um software com o código aberto, para ambiente Windows, e que disponibiliza sintetizador de voz em vários idiomas, incluindo o português (NASCIMENTO, 2012). O Narrador é o leitor de tela das ferramentas de acessibilidade desenvolvido pela Microsoft e padrão do Windows 10, e possui o objetivo de auxiliar o usuário DV a usar o computador e concluir tarefas, possibilitando interagir com textos e signos da tela do computador, inclusive para navegar na Web, em aplicativos e no próprio Windows (SANTOS; SANTOS, 2018).

O ChromeVox é o leitor de tela desenvolvido pela Google e integrado com o navegador Google Chrome e os dispositivos Chromebooks, o qual possibilita que pessoas com deficiência usem o sistema operacional do Chrome (GOOGLE, 2021).

O VoiceOver e o TalkBack são leitores equipados em dispositivos iOS e Android, os quais leem o conteúdo da tela de um smartphone ou tablet em voz alta, o que permite que usuários com deficiência visual naveguem em aplicativos, abram links, enviem e recebam textos e e-mails, e realizem muitas outras tarefas com facilidade (NNELS, 2019).

Já o DOSVOX, desenvolvido desde 1993 pelo Núcleo de Computação Eletrônica da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), é um sistema gratuito

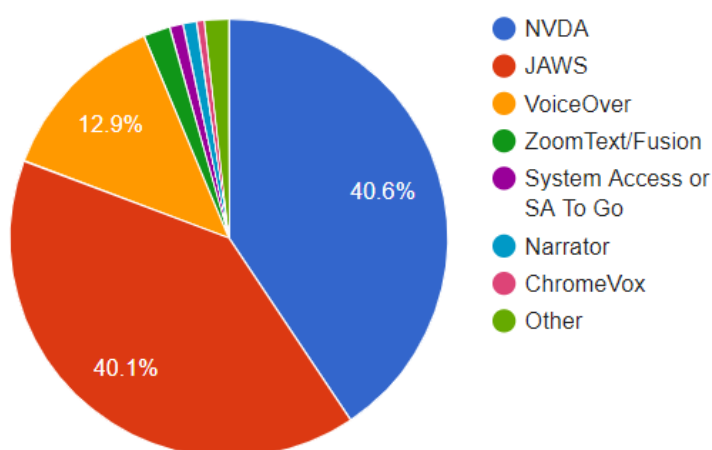
mais complexo, com vários aplicativos desenvolvidos (editor de texto, correio eletrônico, calculadora, dentre outros) e integrados, que se comunica com o usuário através de síntese de voz, viabilizando, deste modo, o uso de computadores por deficientes visuais, que adquirem, assim, muita independência no estudo e no trabalho. O sistema realiza a comunicação com a pessoa com deficiência visual através de síntese de voz em português, sendo que a síntese de textos pode ser configurada para outros idiomas. A partir disso, buscaram-se pesquisas atuais para entender os cenários e definir quais softwares seriam o foco deste estudo.

No cenário internacional, destaca-se a pesquisa “*WebAIM surveyed preferences of screen reader users*” (WEBAIM, 2019), e no cenário brasileiro a “Pesquisa do Uso de Leitores de Tela 2.0” (“Resultados - Pesquisa brasileira sobre o uso de leitores de tela 2.0,” 2020).

A Pesquisa WebAIM, realizada pela Organização sem Fins Lucrativos WebAIM (Web Accessibility In Mind), foi realizada entre agosto e setembro de 2019, com 1224 respostas válidas sobre as preferências dos usuários de leitores de tela no mundo todo. Para a presente pesquisa, destacam-se os resultados sobre quais leitores de tela estão sendo utilizados.

Assim, apresentam-se as porcentagens resultantes da Pesquisa WebAIM, através de um gráfico (Figura 10) referente à pergunta: “*Which of the following is your primary desktop/laptop screen reader?*”, em tradução livre: “Qual das alternativas a seguir é o seu principal leitor de tela para desktop / laptop?”.

Figura 10 – Respostas da pergunta “Which of the following is your primary desktop/laptop screen reader?”



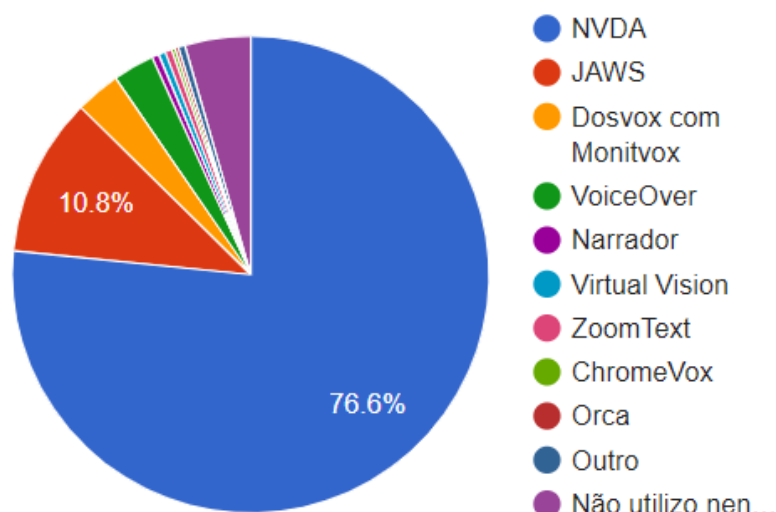
Fonte: WebAIM (2019)

Conforme representado no gráfico (Figura 10) da pesquisa da WebAIM, destaca-se que existem três softwares principais - JAWS, NVDA e VoiceOver, sendo que o JAWS e o NVDA, juntos, correspondem a uma parcela de mais de 80% dos utilizadores.

Já a “Pesquisa do Uso de Leitores de Tela 2.0” (2020) foi realizada em outubro de 2019, pela equipe de acessibilidade da Everis Brasil, com o objetivo de pesquisar as preferências dos usuários de leitores de tela no Brasil, e, ao total, foram coletadas 427 respostas válidas.

Analisando-se os dados, apresentam-se as porcentagens, por meio de um gráfico (Figura 11) dos resultados da pergunta “Qual leitor de tela você mais utiliza para computador / notebook?”

Figura 11 – Respostas da pergunta “Qual leitor de tela você mais utiliza para computador / notebook?”



Fonte: (“Resultados - Pesquisa brasileira sobre o uso de leitores de tela 2.0,” 2020)

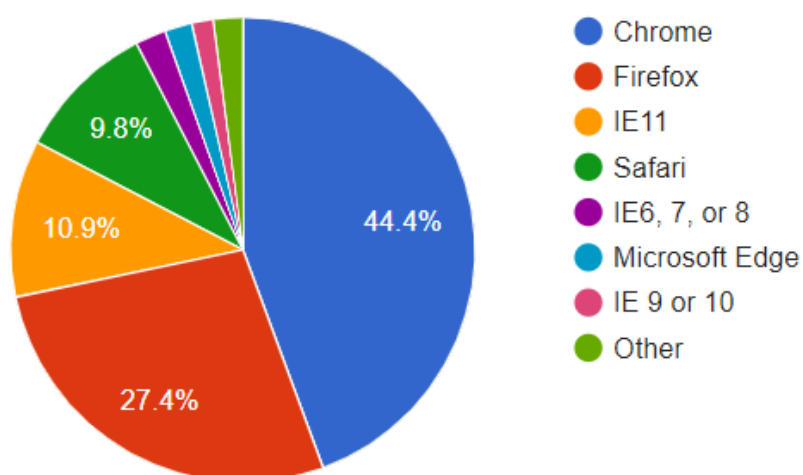
Na Pesquisa Brasileira, observa-se, a partir do gráfico (Figura 11), que 76,6% dos entrevistados utilizam-se do leitor de tela NVDA e 10,8% o leitor de tela JAWS. Ao somar estes números, o NVDA e o JAWS englobam mais de 80% dos utilizadores.

Ambas as pesquisas demonstram resultados parecidos, com os leitores de tela NVDA e o JAWS englobando mais de 80% dos utilizadores, destacando-se que, no Brasil, o uso do NVDA é maior.

Outro ponto relevante das pesquisas e que foi discutido na presente pesquisa é qual navegador (browser) para acesso à internet esses usuários utilizam, uma vez que o acesso à internet só é possível através desses aplicativos (clientes), conceitos já abordados no Capítulo 3 desta pesquisa.

Assim, a pesquisa WebAIM perguntou: *“When using your primary screen reader, which browser do you use most often?”*; em tradução livre: “Ao usar o leitor de tela principal, qual navegador você usa com mais frequência?” Os resultados foram (Figura 12):

Figura 12 – Respostas da pergunta "When using your primary screen reader, which browser do you use most often?"

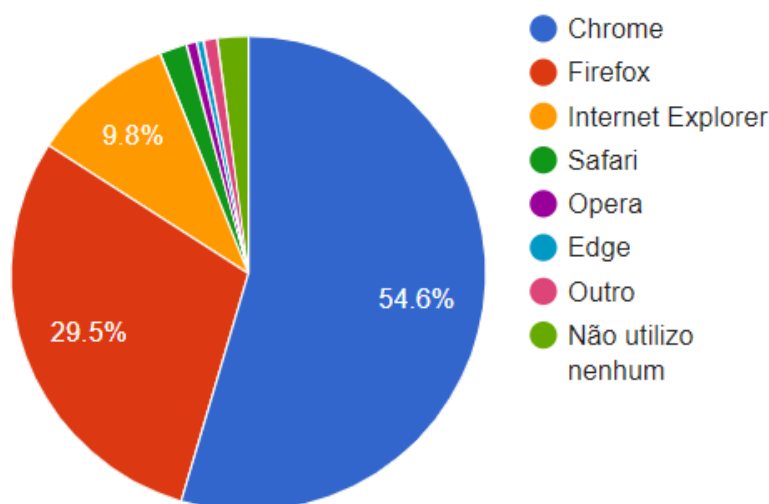


Fonte: WebAIM (2019)

De acordo com o gráfico (Figura 12), o uso do Chrome entre os entrevistados é o maior, seguido do Mozilla Firefox, os quais, juntos, correspondem a mais de 70% de utilização.

A “Pesquisa do Uso de Leitores de Tela 2.0” perguntou: “Qual navegador você mais utiliza no seu computador / notebook?”, obtendo-se os seguintes resultados (Figura 13):

Figura 13 – Respostas da pergunta: “Qual navegador você mais utiliza no seu computador / notebook?”



Fonte: (“Resultados - Pesquisa brasileira sobre o uso de leitores de tela 2.0,” 2020)

De acordo com o gráfico (Figura 13), o uso do Chrome entre os entrevistados é o maior, seguido do Mozilla Firefox, os quais, juntos, correspondem a mais de 80% de utilização, resultados similares aos obtidos na pesquisa da WebAIM.

Assim, destacam-se os leitores de tela o NVDA e o JAWS e os navegadores Chrome e Firefox, os quais englobam a grande parte dos utilizadores, fato que também motivou e norteou o desenvolvimento desta pesquisa e da Tecnologia Assistiva Math2Tex.

Nas próximas seções, serão apresentados estudos de aplicações e exemplos de tecnologia assistiva no ensino da Matemática para deficientes visuais, a fim de verificar outras iniciativas já realizadas e direcionar esta pesquisa.

6.3 PROPOSTAS DE ENSINO DE MATEMÁTICA PARA DEFICIENTES VISUAIS COM A UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA

Esta seção tem como objetivo contextualizar acerca das tecnologias digitais, seu impacto na educação e apresentar propostas já realizadas no âmbito do ensino de Matemática para deficientes visuais e da tecnologia assistiva.

Para isso, buscou-se na literatura iniciativas neste contexto, utilizando-se como base o referencial já apresentado e diferentes estudos de levantamento e revisão sistemática realizados nos últimos anos (GOMES *et al.*, 2018; SOARES BARBOSA *et al.*, 2020; NERY, 2020). Tais estudos levantaram, de forma sistemática

exploratória, diversas propostas de ensino de Matemática para deficientes visuais ao redor do mundo, realizadas entre 2015-2019, utilizando descritores em inglês e português. Dentre as propostas levantadas e discutidas, nesta pesquisa selecionaram-se os estudos relativos a tecnologia assistiva e softwares, discutidos na continuidade do texto.

Os trabalhos de Anjos, Prietch e Freire (2018), intitulado “Realização de Testes com Leitores de Tela para Leitura de Fórmulas Matemáticas como Auxílio para Estudantes Cegos”, e Guedes e Freire (2018), intitulado “Estratégias de Navegação em Fórmulas Matemáticas na Web para Pessoas com Deficiência Visual”, fazem parte um projeto maior denominado NavMatBR.

O NavMatBR - Recurso para leitura e navegação em fórmulas matemáticas por pessoas com deficiência visual no contexto brasileiro, foi um projeto financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) entre os anos de 2016 e 2018.

Este projeto foi coordenado pelo Professor André Pimenta Freire, da Universidade Federal de Lavras, e tinha por finalidade efetuar uma pesquisa para desenvolver um recurso de Tecnologia Assistiva (TA) para permitir a leitura de conteúdos de fórmulas matemáticas em formato digital por softwares leitores de tela para usuários com deficiência visual no Brasil (FREIRE, 2016).

Destaca-se que os resultados publicados e tecnologias desenvolvidas relacionadas ao NavMatBR ainda estão em desenvolvimento, mas mostraram-se promissores, desencadeando novas pesquisas e soluções no grupo de pesquisa, tal como o ChromeVox-NavMatBR (ABREU *et al.*, 2019) e Access8Math-NavMatBR (GUEDES, 2020).

O trabalho de Asebriy, Raghay e Bencharef (2018), intitulado “*An Assistive Technology for Braille Users to Support Mathematical Learning: A Semantic Retrieval System*”, apresenta um sistema que lê informações matemáticas da web a partir da estrutura e semântica do MathML e as transcreve para a linguagem braile.

Os resultados foram satisfatórios e os autores pretendem desenvolver uma plataforma de e-learning com foco em Matemática e conversores de braile que suportem todos os códigos de braile. Destaca-se a utilização do MathML, estratégia similar à que foi utilizada no desenvolvimento do Math2Text.

Bateman *et al.* (2018), no trabalho intitulado “*A user-centered design and analysis of na electrostatic haptic touchscreen system for students with visual*

impairments”, desenvolveram uma pesquisa acerca do desenvolvimento de uma tecnologia *touchscreen* para melhorar as leituras gráficas para pessoas com Deficiência Visual. Destaca-se a utilização da abordagem de DCU no desenvolvimento da tecnologia.

Bier e Sroczyński (2019), no trabalho intitulado “*Rule based intelligent system verbalizing mathematical notation*”, descrevem o desenvolvimento de uma ferramenta que gera a verbalização da linguagem matemática, tal como citado no Capítulo 2 desta tese, porém, aqui vale destacar que o artigo também descreve o processo de desenvolvimento do software em V com a realização do ciclo de testes.

Dias *et al.* (2018), no trabalho “*Matemática, Computação e Braille: Desafios da Pedagogia, da Semiótica e da Síntese da Fala*”, descrevem estratégias para codificar expressões matemáticas e então torná-las sonoras e não ambíguas. Foram utilizados os conceitos das linguagens de marcação MathML e codificação AsciiMath.

Frankel e Brownstein (2016), no trabalho “*An Evaluation of the Usefulness of Prosodic and Lexical Cues for Understanding Synthesized Speech of Mathematics*”, e Frankel, Brownstein e Soiffer (2017), no trabalho “*Expanding Audio Access to Mathematics Expressions by Students With Visual Impairments via MathML*”, apresentam os resultados das ferramentas desenvolvidas para sintetizar expressões algébricas por meio da voz, através do MathML, como meio de melhorar a implementação e interpretação no software MathPlayer.

Marques, Sganzerla e Geller (2018), no trabalho “*Contátil: uma tecnologia assistiva ao ensino de fundamentos matemáticos*”, descrevem a construção de uma TA para auxiliar o ensino da Matemática para deficientes visuais através de uma adaptação do material dourado, utilizando os conceitos do desenho universal, do processo de desenvolvimento de software através do modelo cascata e com a abordagem centrada no usuário.

Regec (2015), no trabalho intitulado “*Mathematics in inclusive education of blind students in secondary school in the Czech Republic*”, avalia o uso de softwares de apoio à escrita de conteúdo matemático, tais como o MathML, pelos professores, constatando que mais de 70% não sabem fazer uso dessas ferramentas.

Wiazowski (2018), no trabalho “*Sight, touch, hearing: The current digital options and challenges in access to math content for learners with visual impairments*”, investiga a utilização de tecnologias para o ensino da matemática para alunos deficientes visuais e compara o método de ensino tradicional com métodos que

utilizam tecnologias digitais. Assim, destaca a dificuldade de muitos professores na utilização dessas tecnologias e que todos os envolvidos (alunos, professores, equipe) devem ter conhecimento sobre como utilizá-las.

Conforme explorado nos trabalhos citados, a tecnologia assistiva de fato pode ajudar os alunos com deficiência a acessar, participar e compreender a matemática em ambientes inclusivos de ensino e aprendizagem.

São diversas as opções de tecnologia assistiva, com diferentes complexidades, todas com o objetivo de apoiar o acesso ao ensino da matemática por alunos com deficiência. Portanto, todas devem ser consideradas ao ensinar os alunos com deficiência.

Destaca-se o caminho utilizado neste trabalho, com a proposta de uma tecnologia assistiva, em português, de acesso a todos, baseando-se nos conceitos do desenho universal, utilizando um processo de desenvolvimento de software com ciclo de testes e uma abordagem centrada no usuário.

No próximo capítulo, serão apresentadas as estratégias metodológicas desta pesquisa que orientaram o desenvolvimento da tecnologia assistiva e, na sequência, os resultados obtidos em cada ciclo de desenvolvimento.

7 FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS QUE ORIENTARAM O DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA ASSISTIVA

Neste capítulo, apresentam-se os procedimentos metodológicos que nortearam esta tese. Na busca de respostas à problemática levantada, alinou-se com os conceitos teóricos anteriormente apresentados, partindo-se da pergunta de pesquisa: Como uma ferramenta tecnológica assistiva pode ser concebida de forma a suprir as lacunas existentes em outros recursos utilizados pelos alunos cegos, como leitores de tela e softwares, para acessar a linguagem matemática em computadores? A intenção visa atender ao seguinte objetivo geral: conceber o Math2Text, uma Tecnologia Assistiva que possibilite aos alunos cegos o acesso a expressões matemáticas por meio do computador, associado aos leitores de tela.

E como objetivos específicos, foram definidos:

- Identificar lacunas no desenvolvimento e utilização de Tecnologia Assistiva no ensino inclusivo da matemática;
- Propor estratégias para elaboração de material didático acessível, utilizando ferramentas da Tecnologia Assistiva como meio facilitador;
- Desenvolver a Tecnologia Assistiva Math2Text a partir de uma metodologia centrada nos usuários (alunos e professores) e focada na solução do problema apresentado;
- Validar considerando os critérios de desenvolvimento de software e na resolução da problemática apresentada;
- Avaliar as potencialidades e limitações nas perspectivas dos usuários (alunos e professores);
- Divulgar e disponibilizar a Tecnologia Assistiva Math2Text.

Para tanto, buscou-se nortear o desenvolvimento da ferramenta centrada nos usuários, estudantes com DV e os professores que ensinam Matemática para estes estudantes, não focando apenas nas dificuldades, mas também em reflexões e estudos sobre elas, professores e o instrumento, assentindo com Vigotski (1998), ao partir do pressuposto de que a presença da deficiência não é determinante para que o desenvolvimento não aconteça.

Assim, optou-se pela pesquisa de natureza aplicada, com uma abordagem qualitativa, optando pela *Design Science Research* (DSR), que possibilita orientar

pesquisas que se destinam a projetar ou desenvolver algo novo, não se preocupando apenas em explorar, descrever ou explicar o problema, mas também em desenvolver propostas para solucioná-lo, uma vez que a DSR tem como foco causar a mudança, criando artefatos e gerar soluções para problemas existentes (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JUNIOR, 2015).

A DSR tem amadurecido como abordagem principalmente na área de Tecnologia e Gestão da Informação (TREMBLAY; HEVNER; BERNEDT, 2010; LEE; HUBONA, 2009) Mas há, também, trabalhos em outras áreas, a exemplo do Ensino e Educação, e com diferentes enfoques (MCKENNEY; REEVES, 2012; PLOMP; NIEVEEN, 2013), cada uma com características e aplicações próprias.

Nesta pesquisa, o enfoque foi a produção de um novo artefato para um problema em especial. Sendo assim, optou-se seguir as orientações de Hevner *et al.* (2004), os quais definem 7 instruções a serem consideradas pelos pesquisadores, com o objetivo de auxiliá-los na condução da DSR, apresentadas no Quadro 1.

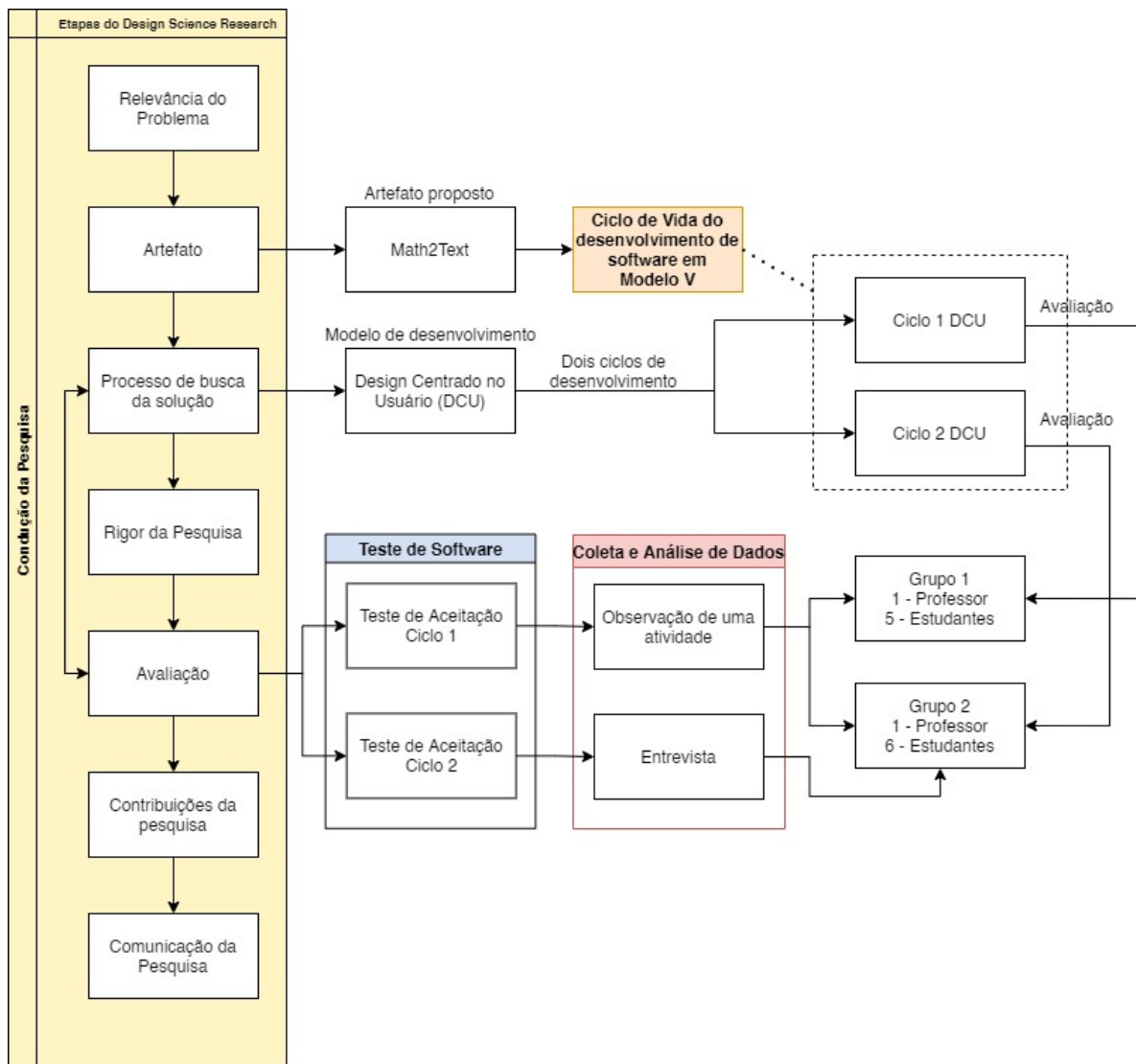
Quadro 1 – Instruções gerais para a condução/avaliação da *Design Science Research* (DSR)

Instrução	Descrição
1. <i>Design</i> como Artefato	A pesquisa fundamentada em <i>Design Science</i> deve produzir um artefato viável, na forma de um constructo, modelo, método e/ou uma instanciação.
2. Relevância do Problema	O objetivo da pesquisa fundamentada em <i>Design Science</i> é desenvolver soluções baseadas em tecnologia para problemas gerenciais importantes e relevantes.
3. Avaliação do <i>Design</i>	A utilidade, qualidade e eficácia do artefato devem ser, rigorosamente, demonstradas por meio de métodos de avaliação bem executados.
4. Contribuições do <i>Design</i>	Uma pesquisa fundamentada em <i>Design Science</i> deve prover contribuições claras e verificáveis nas áreas específicas dos artefatos desenvolvidos, e apresentar fundamentação clara em fundamentos de <i>design</i> e/ou metodologias de <i>design</i> .
5. Rigor da Pesquisa	A pesquisa em <i>Design Science</i> é baseada em uma aplicação de métodos rigorosos, tanto na construção como na avaliação dos artefatos.
6. <i>Design</i> como um Processo de Pesquisa	A busca por um artefato eficaz e efetivo exige a utilização de meios que sejam disponíveis, para alcançar os fins desejados, ao mesmo tempo que satisfaz as leis que regem o ambiente em que o problema está sendo estudado.
7. Comunicação da Pesquisa	A pesquisa em <i>Design Science</i> deve ser apresentada tanto para o público mais orientado à tecnologia quanto para aquele mais orientado à gestão.

Fonte: Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015). Adaptado de Hevner, March e Park (2004, p. 83).

Tais instruções são fundamentais, pois, como já citado, a DSR demanda a criação de um novo artefato (instrução 1) para um problema em especial (instrução 2). Logo, elas foram adaptadas e aplicadas na presente pesquisa (Figura 14), a fim de se atenderem os objetivos propostos, concebendo a Tecnologia Assistiva Math2Text, através do seu desenvolvimento, validação, avaliação, divulgação e disponibilização.

Figura 14 – Caminho metodológico da pesquisa pautado no DSR



Fonte: O Autor (2021)

A partir da Figura 14, será apresentada cada uma das etapas do DSR aplicadas no desenvolvimento da tecnologia assistiva Math2Text, frisando o caminho metodológico para atendê-las, bem como sua relação com a problemática e objetivos propostos.

7.1 RELEVÂNCIA DO PROBLEMA

A partir da problemática da pesquisa, buscou-se a sua relevância, utilizando-se da experiência do pesquisador e da literatura já existente, por meio de um levantamento narrativo, com uma revisão bibliográfica dos conceitos inerentes à área de computação, desenvolvimento de software, deficiência visual, desenho universal, usabilidade, acessibilidade e tecnologia assistiva, além do levantamento de ferramentas e softwares já existentes.

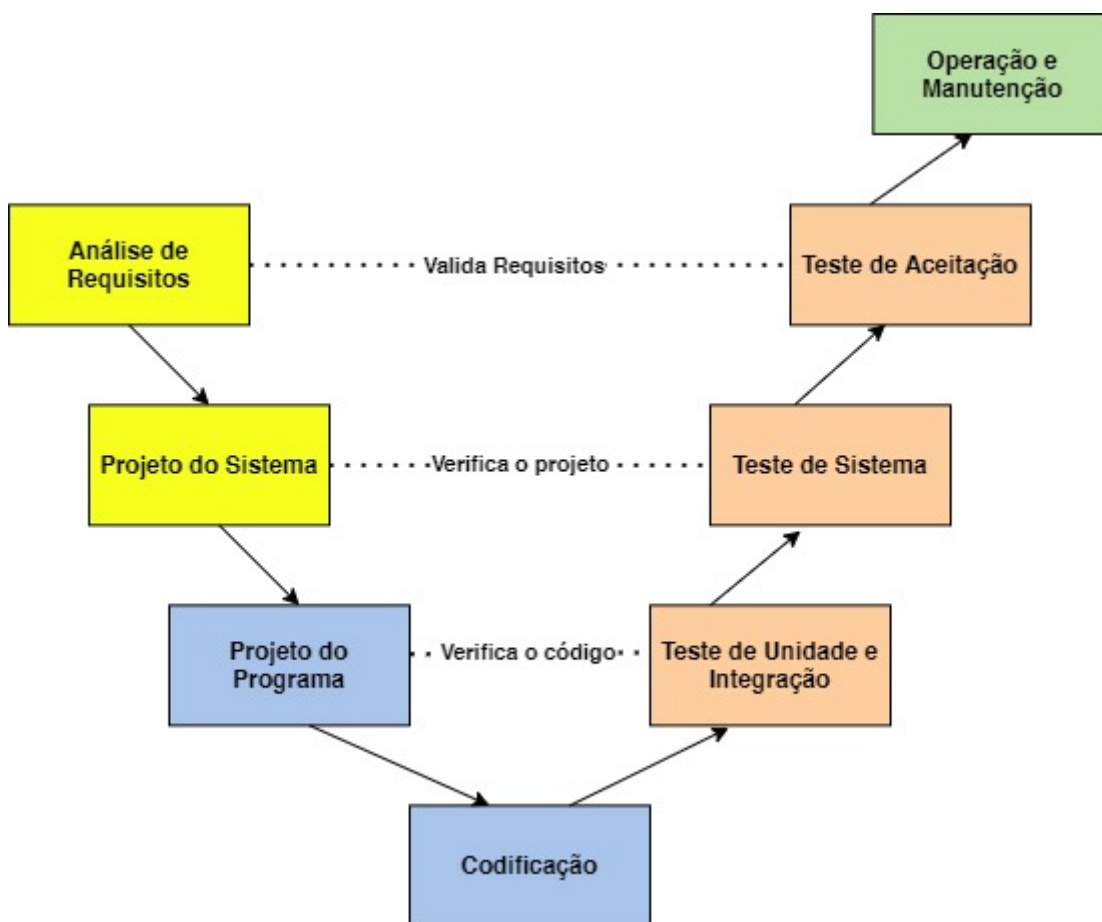
7.2 ARTEFATO

O artefato proposto é a Tecnologia Assistiva Math2Text, que busca a facilitação e a interpretação das expressões matemáticas, pelo leitor de tela, através do navegador no computador, permitindo autonomia para as pessoas com deficiência visual, além de recursos para auxiliar professores na elaboração de materiais digitais acessíveis para o ensino de matemática, independentemente da deficiência declarada.

Para o seu desenvolvimento, utilizaram-se premissas da Engenharia de Software, através do ciclo de desenvolvimento software em Cascata, no qual o software é desenvolvido em etapas de análise, concepção, implementação, testes e suporte. A versão clássica deste modelo propõe uma sequencialidade absoluta, com os resultados de uma etapa servindo de entrada para a realização da etapa seguinte (CYBIS; BETIOL; FAUST, 2017).

Esse modelo em Cascata possui variações, tal como o Ciclo de Vida de desenvolvimento de software em Modelo V (PFLEEGER, 2004), apresentado na Figura 15, devido ao acompanhamento contínuo através de diferentes tipos de testes, garantido um processo de qualidade com ênfase verificação e validação, pois cada fase do lado esquerdo gera um plano de teste a ser executado no lado direito.

Figura 15 – Ciclo de Vida do desenvolvimento de software em Modelo V



Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado de Presman (2015)

O Modelo V (Figura 15) prevê etapas de desenvolvimento de software bem definidas, as quais foram aplicadas no desenvolvimento do Math2Text e serão descritas na sequência:

- **Análise dos Requisitos:** Levantamento dos requisitos funcionais e não funcionais, viabilidade do projeto através do levantamento das tecnologias já existentes.
 - *Requisitos funcionais:* Reconhecer expressões matemáticas através do computador com o uso do leitor de tela. Possibilitar a criação de expressões matemáticas de forma visual através do computador.

- *Requisitos não funcionais*: Facilidade de uso, o software deve ser fácil de usar. Interoperabilidade, o software deve funcionar em qualquer sistema operacional e leitor de tela.
- *Levantamento das tecnologias já existentes*: Busca na literatura de iniciativas já realizadas e em repositórios de softwares a partir da lista de ferramentas computacionais matemáticas *Math Tools* (W3C, 2016) elaborada pela W3C, com a qual levantou-se:
 - Nome das ferramentas;
 - Tipo de licença: se é gratuita ou paga;
 - Plataforma de Utilização: Focando em qual o sistema operacional necessário (Windows, Linux, Mac, Android, IOS), ou se funciona diretamente na internet (web), através do uso do navegador;
 - Interface: Se possui interface gráfica para utilização ou não.
 - Tipos de Exportação: Quais os formatos de exportação da expressão matemática, MathML, Latex, outro.
 - Acessível: Se a ferramenta possui documentação referente à acessibilidade virtual.
- **Projeto do Sistema**: Modelagem inicial do Math2Text baseando-se no levantamento realizado na etapa anterior, para então ocorrer a seleção das ferramentas que poderiam ser utilizadas, a fim de atender os objetivos propostos, utilizando o seguinte critério de seleção:
 - Ser gratuita.
 - Possuir interface gráfica.
 - Exportação em MathML e Latex.
 - Possuir características acessíveis.
- **Projeto do Programa**: Definição das tecnologias e ferramentas a serem utilizadas, modelagem final do Math2Text, definição de componentes e funcionalidades.
- **Codificação**: Desenvolvimento do protótipo para ser testado por usuários.
- **Teste de Integração e Unidade**: Testes White Box (estruturais) realizados pelo pesquisador para verificar a estrutura e lógica das funções desenvolvidas.

- **Teste do Sistema:** Testagem do protótipo completo, realizado pelo pesquisador através da aplicação de casos de testes, verificando a entrada e saída no sistema.
- **Teste de Aceitação:** Testes Black box (funcionais) com os usuários finais do Math2Text, através de aplicação de casos de testes e entrevista. Eles foram realizados com dois grupos distintos, com coleta e análise de dados, os quais serão detalhados na seção 7.5 deste capítulo.
- **Operação e Manutenção:** Avaliação e análise dos dados coletados nos testes.

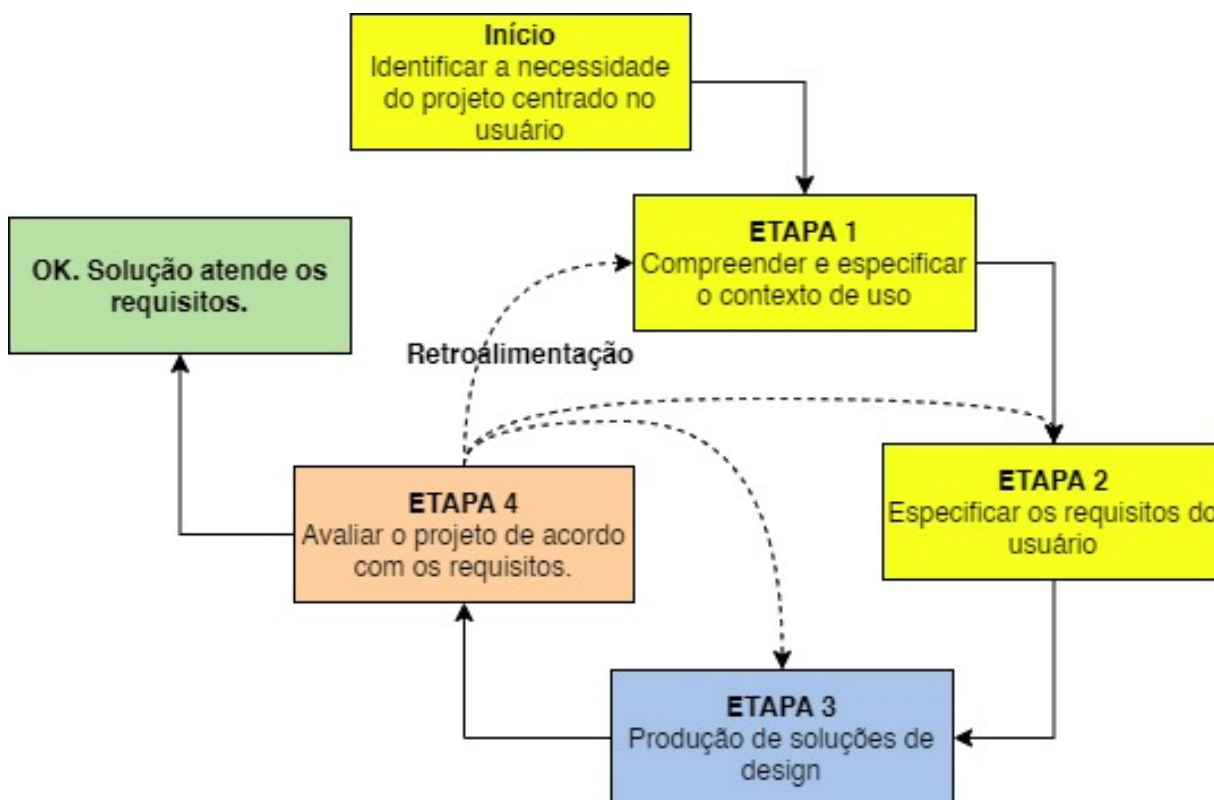
O modelo V permitiu desenvolver um artefato que satisfizesse os requisitos levantados, por meio de uma verificação e validação contínua, e, dos testes citados, porém, para se garantir o rigor necessário, pautado pela DSR, é necessário detalhar o processo metodológico nessa busca da solução, o qual foi centrado no usuário com a utilização das etapas de desenvolvimento de software aqui abordadas.

7.3 PROCESSO DE BUSCA DA SOLUÇÃO

O processo de busca da solução no desenvolvimento do Math2Text foi pautado pela DSR e utilizou-se o modelo de Design Centrado no Usuário (DCU) para pesquisa e desenvolvimento, encaixando-se nesse modelo as etapas do desenvolvimento de software anteriormente citadas.

Destaca-se que se optou pela abordagem do DCU (9241-210, 2019; ANDERSON; NORMAN; DRAPER, 1988) porque ela foca no desenvolvimento de soluções com a geração de produtos bem adaptados às características e necessidades dos usuários, que sejam fáceis de usar e úteis. A partir disso, definiram-se etapas para a estruturação do processo de busca da solução, conforme modelo de fluxo do trabalho centrado no usuário apresentado na Figura 14.

Figura 16 – Modelo do fluxo do trabalho centrado no usuário utilizado na pesquisa



Fonte: Adaptação do esquema apresentado na ISO 9241-210 (2019)

O Modelo apresentado na Figura 14 foi adaptado para esta pesquisa a partir do modelo original do DCU proposto na ISO 9241-210 (2019), apresentando-se 4 etapas:

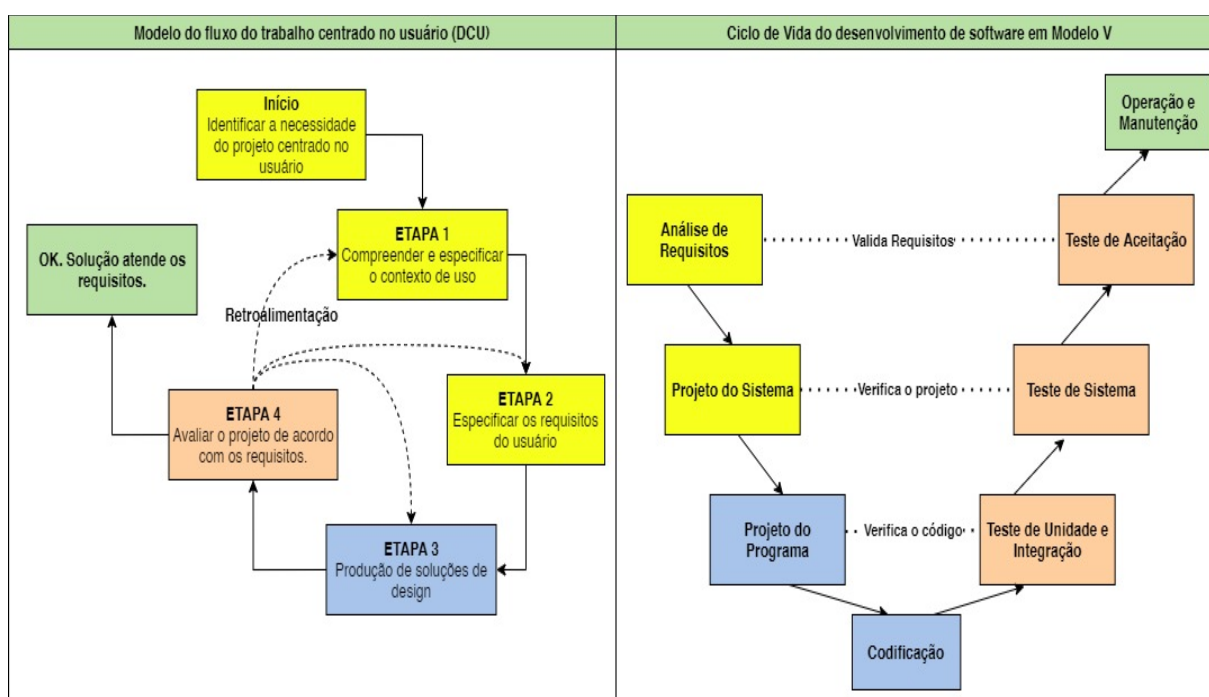
- Etapa 1: Compreensão e especificação do contexto do uso. Levantamento bibliográfico através da revisão narrativa da literatura, buscando entendimento dos conceitos inerentes à pesquisa.
- Etapa 2: Levantamento dos requisitos do usuário. Especificação dos requisitos necessários para o desenvolvimento do Math2Text.
- Etapa 3: Produção de soluções de design. Desenvolvimento do protótipo do Math2Text para ser testado pelos usuários.
- Etapa 4: Avaliação do projeto de acordo com os requisitos. Testes de aceitação pelos usuários, coleta e análise dos dados.

O desenvolvimento de uma ferramenta centrada nos usuários (alunos e nos professores) permite ciclos retroalimentados a partir do DCU e reavalia a solução proposta, possibilitando realizar as devidas modificações.

Assim, nesta pesquisa, adaptaram-se as etapas de desenvolvimento de software do Modelo V, em conjunto com as etapas do fluxo de trabalho do modelo DCU, objetivando-se que ela fosse guiada nas premissas do trabalho centrado do usuário, com foco na solução, retroalimentação e utilização das etapas de desenvolvimento de software presentes no Modelo V, para guiar o desenvolvimento do Math2Text.

Na Figura 17, é possível relacionar com cores as etapas do modelo DCU com as etapas do modelo V, de forma que cores iguais significam que as etapas ocorrem de forma concomitante.

Figura 17 – Fluxo das etapas correspondentes do design centrado no usuário e ao ciclo de desenvolvimento de software no modelo V



Fonte: O Autor (2021).

Assim, conforme observado na Figura 17, nas ETAPAS 1 e 2 do modelo DCU, buscou-se entender o contexto e levantar os requisitos para propor soluções, seus usuários, características e necessidades, para isso guiou-se pelo levantamento dos requisitos do software e seu projeto de sistema baseado no modelo V.

Na ETAPA 3, apresenta-se uma solução de design, os protótipos do Math2Text, que correspondem ao projeto do programa e a codificação de software, pautadas no modelo V.

E após o desenvolvimento dos protótipos, realizam-se pelo pesquisador os testes na ETAPA 4, com os testes de unidade, integração e teste de sistemas, e os testes de aceitação, junto aos usuários finais, a fim de avaliar a necessidade de se repetir o ciclo. Caso a solução tenha atendido aos requisitos, o ciclo estará fechado e ela será considerada viável; caso contrário, retroalimenta e realiza-se um novo ciclo com as mesmas premissas.

No desenvolvimento da tecnologia assistiva Math2Text, ocorreram dois ciclos, com as mesmas etapas de desenvolvimento dentro do DCU, que serão apresentados e discutidos no Capítulo 8 desta pesquisa.

7.4 RIGOR DA PESQUISA

Para a busca do rigor da pesquisa, pautada pelo DSR, Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015) apresentam os seguintes parâmetros para garantir a qualidade da pesquisa:

- Problema da pesquisa: Deve ser relevante, contribuir para a diminuição da lacuna entre teoria e prática e para o avanço do conhecimento.
- Produtos da pesquisa: Deve ser criado um artefato, soluções para problemas reais que sejam satisfatórias para o problema de estudo e devem ser apresentadas na forma de um projeto ou de uma prescrição.
- Avaliação do artefato: O artefato deve ser avaliado por meio de técnicas e ferramentas adequadas e sua utilidade deve ser rigorosamente demonstrada por meio da avaliação.
- Generalização das soluções: As soluções propostas devem ser generalizáveis para uma classe de problemas.
- Rigor na condução do método: Todas as etapas previstas devem ser percorridas e documentadas.

Assim, para garantir o rigor desta pesquisa, foram utilizados esses parâmetros como caminho metodológico, contextualizados e discutidos no Capítulo 8.

7.5 AVALIAÇÃO

Nesta etapa, buscou-se observar e medir o comportamento do Math2Text na solução do problema levantado na pesquisa junto com os usuários, a fim de se

atenderem aos objetivos propostos, validando e avaliando potencialidades e limitações.

Nesta etapa de avaliação com os usuários, tomaram-se as devidas preocupações éticas, informando-se previamente todos os participantes sobre a pesquisa, objetivos, forma de realização e que ela seria registrada. Portanto, todos estavam cientes dos riscos e benefícios da pesquisa e que poderiam, a qualquer momento, solicitar sua retirada do grupo.

Salienta-se, também, que este projeto de pesquisa foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), através da Plataforma Brasil, conforme as orientações da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

No processo de busca de solução, foram gerados dois ciclos de desenvolvimento e, assim, dois testes distintos de aceitação com usuários de dois diferentes grupos e locais.

O primeiro teste foi realizado com o grupo de estudantes da Associação dos Pais e Amigos do Deficientes Visuais (APADEVI) de Ponta Grossa-PR, em dezembro de 2018, com um professor vidente e cinco estudantes, quatro cegos e um com baixa visão, de diferentes idades e formações, mas todos com conhecimentos básicos de matemática e da tecnologia assistiva.

O segundo teste foi realizado com um grupo diferente de usuários, na APADEVI - de Guarapuava-PR, em dezembro de 2019, com uma professora vidente e seis estudantes, cinco cegos e um com baixa visão, que haviam completado a escola regular e possuíam conhecimento básico da matemática e da tecnologia assistiva.

Os dois grupos de teste foram definidos pelos professores das entidades parceiras, através dos seguintes critérios de inclusão:

- Ter deficiência visual (Cegueira ou baixa visão);
- Estar frequentando ou já ter concluído o ensino médio, considerando-se o fato de eles já terem apropriado conceitos relacionados a equações matemáticas;
- Ser usuário de algum tipo de tecnologia assistiva;
- Estar disposto a participar do processo de validação do software.

Caso o estudante não se encaixasse em algum dos critérios de inclusão, seria excluído da pesquisa.

Assim, realizou-se a avaliação dos protótipos desenvolvidos com os usuários finais, através de testes de aceitação funcionais (Black box), com coleta de dados

através da documentação do teste, observação direta e entrevista informal, para posterior análise e apresentação dos dados.

O teste funcional (Black box), segundo Khan (2011), consiste em se preocupar se o sistema atende aos parâmetros desejados do ponto de vista do usuário, se os requisitos levantados no início da busca da solução foram atendidos.

Para coleta de dados, foi realizada a documentação do teste (Figura 18), que consiste em realizar o registro da atividade que deveria ser realizada (script/roteiro do teste), com os dados esperados de entrada e saída, local, data e horário, quantidade de participantes, versão do software e comentários dos usuários (PRESMAN, 2015).

Figura 18 – Exemplo de documentação de teste

Teste de Aceitação 1: Math2Text		
Data: Dez/2018		
Local: APADEVI – Ponta Grossa		
Participantes: 1 professor e 5 estudantes		
Versão 1.0 Math2Text		
Entrada de dados	Saída esperada texto falado	Saída esperada formato imagem
1+1	<i>um Mais um</i>	1 + 1
4-2	<i>quatro Menos dois</i>	4 - 2
10x10	<i>dez Vezes dez</i>	10 × 10
10/5	<i>InicioFração dez Sobre cinco FimFração</i>	$\frac{10}{5}$
$\sqrt{4}$	<i>InicioRaizQuadrada quatro FimRaizQuadrada</i>	$\sqrt{4}$
Comentários:		

Fonte: O Autor (2021).

Durante a realização dos testes de aceitação, também se utilizou a técnica de observação direta de uma atividade com registros escritos pelo pesquisador, a qual, segundo Cybis, Betiol e Faust (2017), consiste em “observar a pessoa enquanto ela realiza suas atividades em seu ambiente natural”.

Para a entrevista, realizada somente no segundo teste, utilizou-se a técnica de entrevista informal com registro em vídeo, a qual, segundo Jordan (1998), é um procedimento no qual o pesquisador interage com os interlocutores, o que dá ao respondente a oportunidade de levar a discussão para questões que considere relevantes.

O autor também considera que esse tipo de entrevista, em termos de pesquisas de interação humano-computador, pode ser útil ao permitir que o usuário tenha a chance de interagir com um protótipo e relate quais características de que mais gosta ou de que gosta menos (JORDAN, 1998).

Os dados coletados foram analisados a partir dos registros e anotações realizadas no dia do teste, e a entrevista, por meio da análise da conversação.

Para Flick (2009, p.31), “a análise de conversação estuda a fala enquanto processo e enquanto forma de interação: quais os métodos empregados para a organização prática da fala enquanto processos que se desenrolam de forma regular”, concentrando-se na observação formal do contexto das ações e suas interpretações. Logo, esse modo de análise de dados objetiva determinar como as ações e os mecanismos presentes na organização da fala impactam nos processos que eles executaram, entre todos os interlocutores.

Assim, seguindo as orientações de Flick (2009), foram utilizados os seguintes procedimentos para a análise da conversação:

- A realização de gravações na interação ocorrida no momento do teste de aceitação e na entrevista.
- A transcrição dos vídeos, de forma integral.
- Após a transcrição, a identificação de ocorrências relacionadas ao teste do Math2Text.
- Seleção das ocorrências para a análise, articulando com o referencial teórico.
- A elaboração do relatório de pesquisa.

Assim, nos ciclos de desenvolvimento, ocorreu a validação do Math2Text, com a coleta e análise de dados, através da realização de um teste de aceitação, com observação de tarefas e entrevistas informais, focando-se em sua funcionalidade e utilização, aplicados em momentos, grupos e instituições distintas, um em cada ciclo de desenvolvimento pautado no DCU e no DSR, os quais estão detalhados no Capítulo 8.

7.6 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

Seguindo a condução da pesquisa pautada no DSR, as contribuições da pesquisa serão demonstradas através da relação do artefato proposto, a tecnologia assistiva Math2Text, com a resolução da problemática levantada e o alcance dos objetivos propostos, a fim de se esclarecer, para a comunidade científica e para a comunidade em geral, os pontos de sucesso e insucesso, objetivando-se que a pesquisa sirva de referência e subsídio para a geração de novos conhecimentos práticos e teóricos.

7.7 COMUNICAÇÃO DA PESQUISA

Por fim, a comunicação da pesquisa, última etapa da pesquisa pautada no DSR, será demonstrada através da explicação de acesso ao artefato desenvolvido, disponibilizado em formato aberto e de código livre, através de um site disponível na internet, com a concentração de todas as informações necessárias, além da relação de trabalhos já publicados.

No próximo capítulo, serão apresentados os resultados e as discussões, seguindo as etapas da pesquisa conduzida pela metodologia DSR e explicadas neste capítulo.

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo tem como objetivo descrever os resultados obtidos na pesquisa realizada, através do desenvolvimento da Tecnologia Assistiva Math2Text, seguindo as diretrizes do DSR e demais procedimentos expostos no Capítulo 7, das orientações metodológicas.

Para tanto, o Capítulo está separado em seções, pautadas nas etapas do DSR definidas na metodologia. Na primeira seção, são destacados pontos sobre a relevância do problema apresentado e a pesquisa realizada; já na segunda, apresentam-se o artefato e o seu processo de busca, baseando-se nas etapas do desenvolvimento e seus respectivos ciclos, através do DCU. Na terceira seção, são realizadas discussões sobre o rigor da pesquisa; na quarta, apresentam-se os resultados das avaliações com testes de aceitação pelos usuários e entrevistas. Na quinta seção, as contribuições da pesquisa e, por fim, na sexta seção, a comunicação da pesquisa, com discussões de algumas publicações já realizadas e a disponibilização do Math2Text, além de esclarecimentos de como utilizá-lo.

8.1 RELEVÂNCIA DO PROBLEMA

O levantamento narrativo realizado e já explicitado nos capítulos anteriores destaca que existe uma alta demanda por soluções que auxiliem as pessoas com deficiência visual, visto que uma grande parcela da população mundial possui algum tipo de deficiência visual. Segundo dados da OMS, a cegueira afeta aproximadamente 39 milhões de pessoas em todo o mundo, número que aumenta para 246 milhões, considerando perda moderada ou severa da visão (OTTAIANO *et al.*, 2019).

Essa população tem capacidades psicológicas superiores para aprender e se desenvolver tal como qualquer outra, desde que existam formas alternativas para acesso à informação e de uma atitude inclusiva do ambiente físico e social no qual estejam inseridos.

Essa afirmação vem ao encontro da teoria da compensação, de Vigotski (1997), discutida em capítulos anteriores, a qual considera que a cegueira, assim como outras deficiências, pode promover uma reorganização completa no funcionamento psíquico, de modo a possibilitar uma compensação do impedimento. Considerando-se que o problema da cegueira é meramente instrumental e, ao se

proporcionar ao cego formas alternativas de acesso aos aspectos da cultura inacessíveis a ele, devido à ausência de visão, o problema será contornado, como no caso do sistema braile, que permite ao cego o acesso à linguagem escrita (LIRA; SCHLINDWEIN, 2008).

Na busca por proporcionar formas alternativas de acesso ao conhecimento, muitos recursos de tecnologia assistiva foram desenvolvidas como recursos didáticos, tais como lupas, óculos, sorobã, calculadoras, softwares leitores de tela dentre outras. Essas tecnologias, na visão de Radabaugh (1993), tornam as coisas mais fáceis para as pessoas sem deficiência, e para as pessoas com deficiência tornam as coisas possíveis.

Neste sentido, ao focar em tecnologia assistiva para o ensino da matemática, mediado por computador, levantam-se problemas como:

- A compatibilidade dos leitores de tela em identificar caracteres matemáticos apresentados via computador;
- A necessidade de desenvolver soluções que sejam interoperáveis, ou seja, funcionem em qualquer tipo de leitor de tela e computador;
- A adaptabilidade e facilidade de uso, não necessitando conhecimentos técnicos de computação, proporcionando ao professor uma maneira fácil de criar esses conteúdos e, ao estudante, fácil acesso e utilização.
- A necessidade de proporcionar uma correta interpretação e entendimento dos caracteres matemáticos em língua portuguesa e que sejam gratuitas.

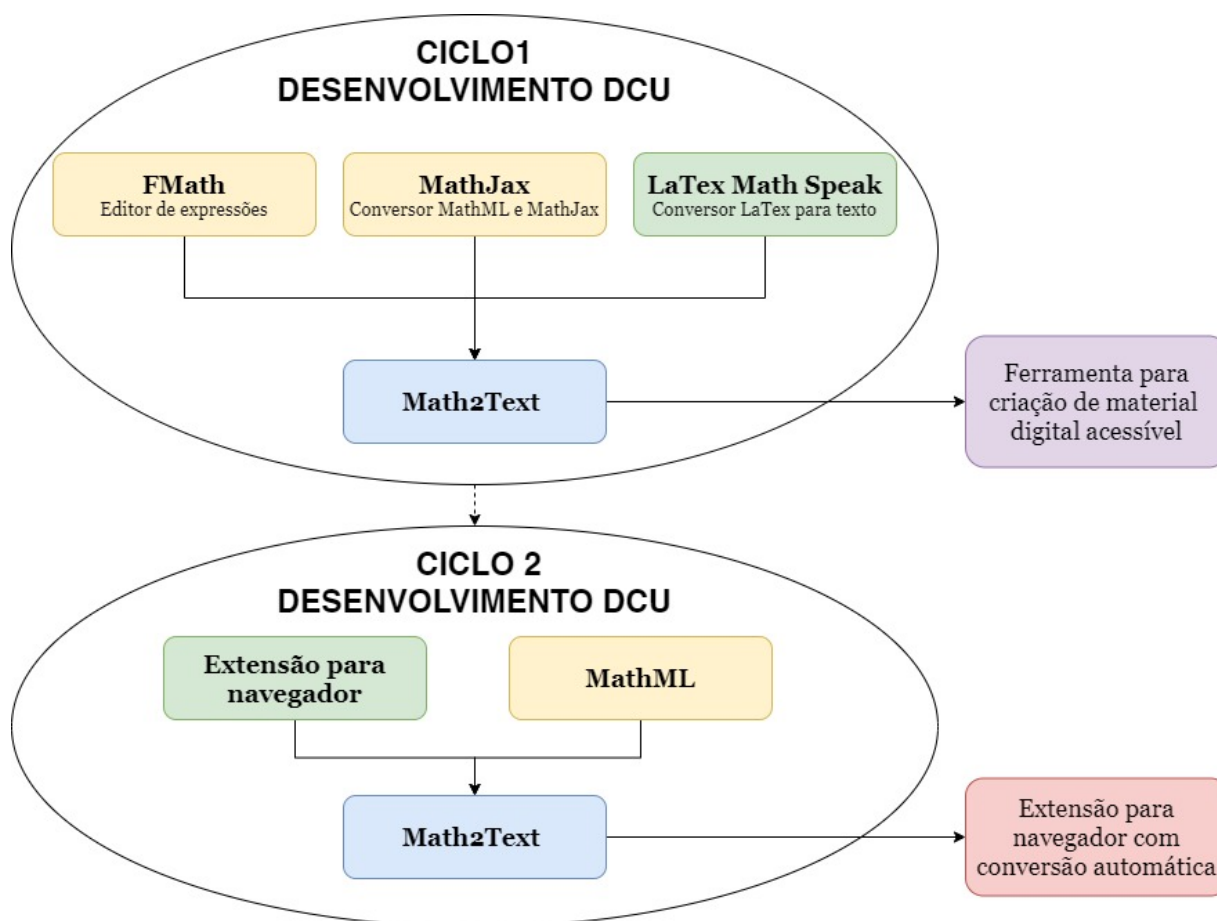
Portanto, no contexto desta pesquisa, o artefato proposto foi o Math2Text, uma tecnologia assistiva gratuita, em português, que visa preencher essas lacunas, possibilitando a leitura de expressões matemáticas por alunos com deficiência visual através do computador, com o uso de leitores de tela, além de recursos para professores na criação de materiais digitais acessíveis para o ensino de matemática.

8.2 O ARTEFATO E O PROCESSO DE BUSCA DA SOLUÇÃO

O artefato proposto é a Tecnologia Assistiva Math2Text, e em seu desenvolvimento foram utilizadas as premissas da Engenharia de Software, através do Modelo V, ocorrendo as etapas de Análise de Requisitos, Projeto do Sistema, Projeto do Programa, Codificação e os respectivos testes. Essas etapas ocorreram

em conjunto com as etapas do DCU, gerando dois ciclos de desenvolvimento (Figura 19).

Figura 19 – Arquitetura do Math2Text.



Fonte: O Autor (2021).

O primeiro ciclo gerou uma ferramenta para criação de material digital acessível, possibilitando que professores possam, através de uma interface, gerar expressões matemáticas em formato acessível. O segundo ciclo automatizou o processo de identificação e interpretação de expressões matemáticas a partir do navegador, com o auxílio do leitor de tela. A seguir, será apresentado o processo de busca de cada um dos ciclos de desenvolvimento.

8.2.1 Ciclo 1

No primeiro ciclo de desenvolvimento, a partir das lacunas levantadas e da problemática definida, realizou-se o levantamento dos requisitos funcionais e não

funcionais e a verificação de viabilidade do projeto, através do levantamento das tecnologias já existentes.

Os requisitos funcionais englobam a possibilidade de reconhecer expressões matemáticas através do computador, com o uso do leitor de tela e de criação de expressões matemáticas de forma visual, através do computador.

Já os requisitos não funcionais relacionam-se com a facilidade de uso, o software deve ser fácil de usar e a interoperabilidade, o software deve funcionar em qualquer sistema operacional e leitor de tela.

A busca das tecnologias já existentes seguiu os processos definidos na metodologia desta pesquisa, então, analisaram-se as tecnologias encontradas e elaborou-se um comparativo entre elas, apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 –Comparativo entre ferramentas computacionais matemáticas.

Ferramenta	Licença	Plataforma de Utilização	Interface	Tipos de Exportação*	Acessível
DragMath	Gratuita	Web	Editor Gráfico	MathML, Latex	Não
FireMath	Gratuita	Web (Firefox)	Editor Gráfico	MathML	Não
FMath	Gratuita	Java, Web, Flash etc.	Editor Gráfico	MathML, Latex	Não
Formulator MathML Weaver	Gratuita (para uso não comercial)	Windows, Mac OS X & Linux	Editor Gráfico	MathML	Não
LibreOfficeMath	Gratuita	Windows, Mac e Linux	Editor Gráfico	MathML	Não
MathCast	Gratuita	Windows	Editor Gráfico	MathML	Não
MathJax	Gratuita	Web	Não possui	MathML, Latex, Equação para Texto	Sim
MathType	Paga	Windows	Editor Gráfico e Manuscrito	MathML, Latex, Equação para Texto	Sim
MathMagic	Paga	Windows, Mac, Android	Editor Gráfico	MathML, Latex, Equação para Texto	Sim
MyScript	Paga	Windows, IOS, Android	Editor de Manuscrito	Latex	Não

Fonte: O Autor (2020).

No Quadro 2, verifica-se que as ferramentas que atendem mais requisitos, em sua grande maioria, possuem licenças comerciais, além da identificação de lacunas, tal como a falta de distribuição gratuita, saídas em formatos científicos como LaTeX e MathML e suporte a diferentes sistemas operacionais, características corroboradas nos trabalhos apresentados nos capítulos anteriores e consideradas no desenvolvimento do Math2Text.

Na análise do Quadro 2, também se observou que as ferramentas de uso gratuito, em grande parte, como o MathJax e o Fmath, possuem maior reportação de erros pela comunidade que a utiliza, sendo que muitas não possuem nenhum tipo de suporte ou encontram-se em estado de abandono por parte dos desenvolvedores, isto é, trata-se de softwares sem atualizações ou correções há anos.

Assim, a partir desse levantamento, constatou-se que há duas ferramentas presentes que alcançam a maioria dos fatores listados no Quadro 2: o MathType e o MathJax.

O MathType faz parte de uma suíte de softwares de produção matemática para computadores da companhia Wiris. A ferramenta permite o desenvolvimento de equações em editores gráficos até sua exibição final em websites, porém possui licença paga.

O MathJax é uma ferramenta gratuita, constantemente atualizada, possuindo um grande universo de colaboradores e empresas que auxiliam no seu desenvolvimento e manutenção. Apresenta saídas acessíveis compatíveis com diversos leitores de tela gratuitos, além de outros formatos acessíveis para exibição de equações. Contudo, trata-se apenas de uma ferramenta de exibição de expressões matemáticas em plataformas web, tornando-a menos abrangente que a suíte do MathType.

Assim, o primeiro protótipo do Math2Text buscou unir as características de ambas as ferramentas em uma solução que abrangesse a criação de expressões matemáticas através de uma interface e que possibilitasse a sua exibição online, com saídas acessíveis no idioma português brasileiro, sendo disponibilizada de forma gratuita.

Outro ponto considerado foi a respeito da forma de leitura de uma expressão matemática, pois diferentemente da forma padrão de apresentar uma expressão matemática em braile, que se encontra no Código Matemático Unificado (2006), a transcrição de uma expressão matemática para um texto, a fim de ser lido por um

software leitor de tela, deve ser feito de forma não ambígua, utilizando-se os conceitos de audiodescrição, pois o usuário deve conseguir formular a expressão de maneira correta.

No processo de busca da solução, não se encontrou nenhum padrão para a transcrição das expressões matemáticas, assim, buscou-se uma forma baseada em uma leitura literal da expressão com todos seus componentes, realizando-se marcações claras de início e final, evitando-se possíveis ambiguidades na sua interpretação. O Quadro 3 apresenta a diferença entre uma leitura de expressão comum (ambígua) e a leitura produzida pelo Math2Text.

Quadro 3 – Comparativo entre leituras de uma mesma expressão matemática.

#	Expressão	Tipo de Leitura	de Leitura da Expressão	Interpretação I	Interpretação II
1	$Y = \frac{1}{2} + X$	Leitura Comum (Ambígua)	Y Igual um sobre dois Mais X.	$Y = \frac{1}{2} + X$	$Y = \frac{1}{2+X}$
2	$Y = \frac{1}{2} + X$	Leitura pelo Math2Text	Y InícioFração um Sobre dois FimFração Mais X	$Y = \frac{1}{2} + X$	Não possui.

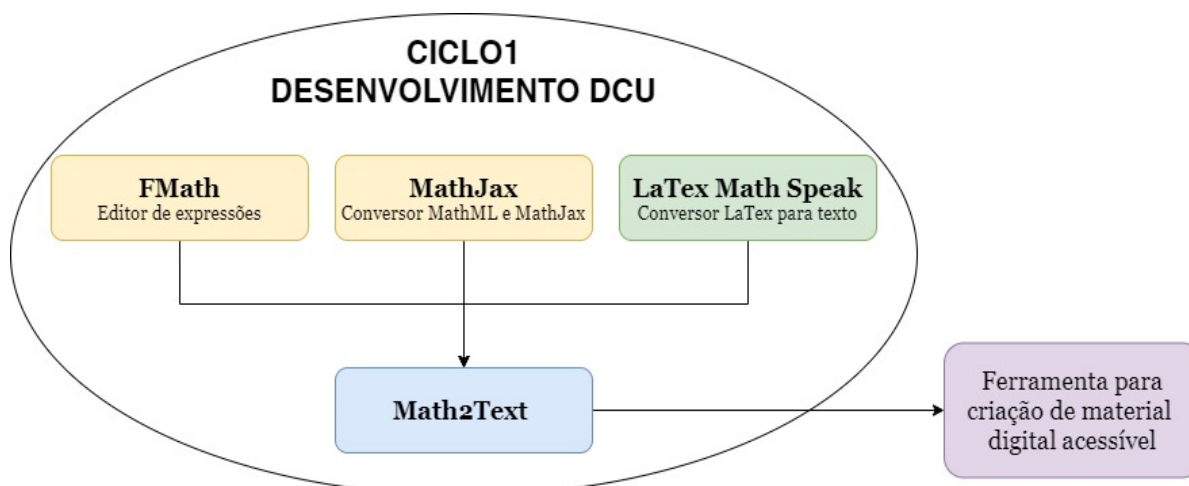
Fonte: O Autor (2020).

A partir do Quadro 3, observa-se que uma mesma expressão pode ser interpretada de diferentes formas, por exemplo, na expressão 1, não realizando a diferenciação entre denominadores e fatores da expressão, gerando ambiguidade. A fim de resolver isso, na expressão 2, utilizando o Math2Text, todos os componentes são descritos de maneira literal, descrevendo o início e fim da fração.

Essa característica tem ligação direta com a ideia de linguagens de marcação HTML, tal como apresentado anteriormente, sendo definido o início e fim de cada item.

A partir dessas definições, desenvolveu-se o projeto do sistema e do programa, com a modelagem inicial do Math2Text e seleção das ferramentas a serem utilizadas e desenvolvidas. Na Figura 20, é possível visualizar essa modelagem.

Figura 20 – Modelagem do Ciclo 1 do Math2Text.



Fonte: O Autor (2021).

Conforme apresentado na Figura 20, foram utilizadas duas ferramentas gratuitas – o Fmath e o MathJax –, além do LaTeX Math Speak, que foi desenvolvido na pesquisa.

A ferramenta FMath (ALEXANDRU, 2010) é distribuída sob a licença de software livre Apache 2.0, e possui um editor de expressões matemáticas compatível com diversas plataformas e linguagens de programação; seu objetivo principal é proporcionar ao usuário uma ferramenta visual de edição. A versão utilizada nesta pesquisa baseia-se em JavaScript e permite converter a expressão produzida para os formatos LaTeX e PNG.

O MathJax (MATHJAX, 2011) é um conjunto de códigos de software que facilitam o uso de expressões matemáticas em sistemas para internet, também é produzido em Javascript, permitindo a interoperabilidade com as demais ferramentas utilizadas, além de possuir suporte à grande maioria dos navegadores e distribuída com licença de software livre Apache 2.0. Nesta pesquisa, o MathJax é responsável pela geração das saídas em formato MathML e MathJax.

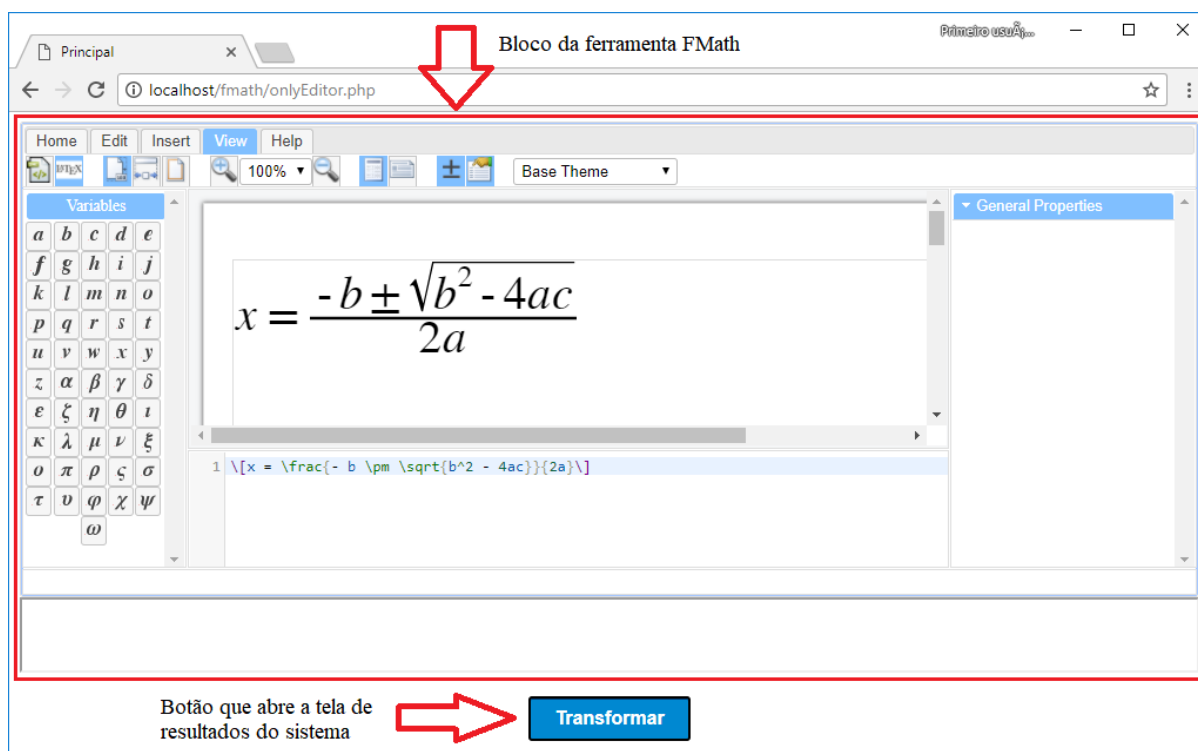
O LaTeX Math Speak foi desenvolvido pelo pesquisador desta tese em conjunto com a equipe, em linguagem de programação PHP, e possui como entrada uma expressão matemática em formato LaTeX, originada da ferramenta FMath, que é então transformada em uma expressão em formato texto acessível com duas diferentes opções, simples e detalhadas, permitindo que seja utilizada como um

atributo alt da linguagem de marcação HTML em imagens. Ela foi desenvolvida para realizar a junção e adaptação das demais ferramentas utilizadas.

A partir dos projetos do sistema e do programa, ocorreu a codificação do protótipo do Math2Text, o qual consiste na junção dessas ferramentas com a proposta de ser uma ferramenta para criação de material digital acessível através do navegador.

Neste protótipo (Figura 21), o usuário deve produzir sua expressão matemática em um editor online (Bloco da ferramenta FMath) com diversas opções e então transformá-la (Botão Transformar), gerando saídas em diferentes formatos que serão utilizados para o desenvolvimento de materiais acessíveis.

Figura 21 – Tela Principal



Fonte: O Autor (2020).

Nesta interface (Figura 21), buscou-se um design padronizado, baseado nas premissas do desenho universal, usabilidade e acessibilidade, dividindo as ações semelhantes em cada aba e exibindo todas as informações de escolha do usuário como números, variáveis, sinais, operações etc., em botões padronizados e com ícones que representam a ação do botão.

O botão “Transformar” (Figura 21) foi inserido em tamanho ampliado e com cores diferenciadas, localizado na área central da tela, abaixo do bloco do Editor de Expressões, o que indica ao usuário um componente externo de controle, que, a partir da ação de clicar no botão “Transformar”, os resultados são apresentados em uma nova interface.

Os resultados são apresentados na Tela de resultados (Figura 22), com a função de exibir todas as saídas produzidas pelo sistema. A tela divide as informações em blocos de um mesmo padrão, identificando qual saída está presente em cada bloco, proporcionando ao usuário a possibilidade de compreender quais saídas foram geradas e a de utilizar-se dos resultados da forma que necessitar. A fim de demonstrar as funcionalidades do Math2Text, na Figura 22, é apresentado um exemplo de resultado obtido a partir da inserção da fórmula de Bháskara.

Figura 22 – Exemplo de Saída – Fórmula de Bháskara.

The screenshot shows a web browser window titled "Resultado - Google Chrome" with the URL "localhost/fmath/converts.php". The page displays five numbered output blocks for the Bháskara formula:

- 1 Formato Texto Completo**: A list of tokens used in the formula, such as "InicioEquação", "X Igual", "InicioFração", "InicioNumerador", "Menos B Mais ou Menos", "InicioRaizQuadrada", "B Elevado a", "InicioIndicePotencia dois", "FimIndicePotencia Menos quatro A C", "FimRaizQuadrada", "FimNumerador", "InicioDenominador dois A", "FimDenominador", "FimFração", and "FimEquação".
- 2 Formato Texto Resumido**: A concise list of tokens: "X Igual", "InicioFração", "Menos B Mais ou Menos", "InicioRaizQuadrada", "B Elevado a Potencia de dois", "FimPotencia", "Menos quatro A C", "FimRaizQuadrada", "Sobre dois A", and "FimFração".
- 3 Formato PNG**: A visual representation of the Bháskara formula:
$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$
- 4 Formato MathJax**: The formula rendered using MathJax:
$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$
- 5 Formato MathML**: The formula in MathML code:

```
<math xmlns="http://www.w3.org/1998/Math/MathML" display="block">
  <mi>x</mi>
  <mo>=</mo>
```

Fonte: O Autor (2020).

Nesta tela (Figura 22), observam-se quatro diferentes formatos de saída para a fórmula de Bháskara, sendo eles:

- Texto (1 e 2): Saída da expressão em formato de texto completo e resumido, realizando a demarcação dos elementos da expressão, objetivando uma interpretação não ambígua e utilização através de leitores de tela.
- PNG (3): Saída da expressão em formato de imagem com fundo transparente, comumente utilizada na produção de diferentes mídias (livros, e-books, sites etc.).
- MathJax (4): Saída em formato MathJax, que permite utilização em aplicações online através de um interpretador integrado nos principais navegadores.
- MathML (5): Saída em linguagem de marcação MathML para web, formato recomendado e mantido pela W3C, organização que padroniza a web.

Na Figura 23, é apresentado um segundo exemplo de saída a partir de uma expressão algébrica que representa o quadrado da soma de dois termos.

Figura 23 – Exemplo de Saída - Quadrado da soma de dois termos.

The screenshot shows a web browser window with the following content:

- Formato Texto Completo:** InícioEquação Y Igual AbreParênteses X Mais dois FechaParênteses Elevado a InícioIndicePotencia dois FimIndicePotencia FimEquação
- Formato Texto Resumido:** Y Igual AbreParênteses X Mais dois FechaParênteses Elevado a Potencia de dois FimPotencia
- Formato PNG:**
$$y = (x + 2)^2$$
- Formato MathJax:**
$$y = (x + 2)^2$$
- Formato MathML:**

```
<math xmlns="http://www.w3.org/1998/Math/MathML" display="block">
  <mi>y</mi>
</math>
```

Fonte: O Autor (2020).

O segundo exemplo (Figura 23) possui os mesmos tipos de saída, texto (completo e resumido), PNG, MathJax e MathML, sendo possível perceber as mesmas características de marcação de início e final, além da presença da potenciação.

Os exemplos de saída apresentados nas Figuras 22 e 23 fizeram parte dos testes de sistema realizados pelo pesquisador, sendo inserido no formato .PNG e com a descrição textual no formato “Texto resumido” no atributo alt (Figura 24).

Figura 24 – Exemplo de Saída com arquivo em imagem e texto transcrito

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$y = (x+2)^2$$

```
<html>
  <head></head>
  <body> == $0
    <br>
    <p>
      
    <br>
    </p>
    <br>
    <br>
    <p>
      
    <br>
    </p>
  </body>
</html>
```

Fonte: O Autor (2020).

Essas saídas, apresentadas na Figura 24, simulam um exemplo de material digital acessível aberto no navegador, com a utilização da saída da expressão em formato de texto acessível sendo inserida como texto alternativo (alt) em materiais didáticos digitais.

O desenvolvimento deste protótipo teve por foco principal a conversão de expressões produzidas em uma interface gráfica para expressões em formato de texto transcrito, possibilitando a criação de materiais acessíveis, através da inserção de imagens com as expressões e o texto alternativo em sua descrição.

Após os testes realizados pelo pesquisador, o próximo passo foi a avaliação com os usuários, através da realização do teste de aceitação. Para a avaliação, constou da observação direta de tarefa na realização de um caso de teste de aceitação no Math2Text com um grupo de usuários, um professor e cinco estudantes

deficientes visuais, seguindo a metodologia proposta e que será detalhada na seção 8.4, sobre o processo de avaliação.

Após essa avaliação com usuários, levantaram-se limitações quanto à sua abrangência, pois, segundo os usuários, o Math2Text suporta apenas as principais expressões matemáticas, sendo elas: sinais de adição, subtração, mais ou menos e igualdade; operações de soma, subtração, divisão, multiplicação, radiciação e exponenciação, além do suporte a abertura e fechamento de parênteses.

Outro ponto identificado pelos usuários foi a necessidade de se integrar a transcrição de expressões matemáticas com leitores de tela de forma automatizada, uma vez que a tecnologia auxilia o professor na elaboração de materiais acessíveis, possibilitando que ele gere equações e expressões, converta em texto e use como atributo de uma descrição de imagem, ou como formato LaTeX ou MathML para demais usos, mas necessitando que todas as transcrições sejam realizadas, uma por uma, através do Math2Text.

Neste ponto da pesquisa, o Math2Text permitia a geração de materiais digitais acessíveis, porém, necessitava que o professor preparasse todo o material com expressões matemáticas em formato de imagem e inserisse sua descrição textual no atributo alt, necessitando de conhecimentos de linguagem de marcação HTML.

Diante disso, um novo ciclo do DCU foi realizado, objetivando-se automatizar e facilitar o processo de transcrição para a pessoa com deficiência visual e o processo de desenvolvimento de materiais acessíveis para o professor, desenvolvendo-se um novo protótipo do Math2Text que permitisse que leitores de tela pudessem identificar e interpretar expressões matemáticas presentes em páginas e documentos da internet, gerando sua transcrição de forma automática.

8.2.2 Ciclo 2

No segundo ciclo de desenvolvimento, a partir dos resultados obtidos no primeiro ciclo de desenvolvimento, reiniciou-se o processo pautado no DCU, objetivando-se refinar os requisitos, a fim de automatizar o processo de identificação e leitura pelos leitores de tela.

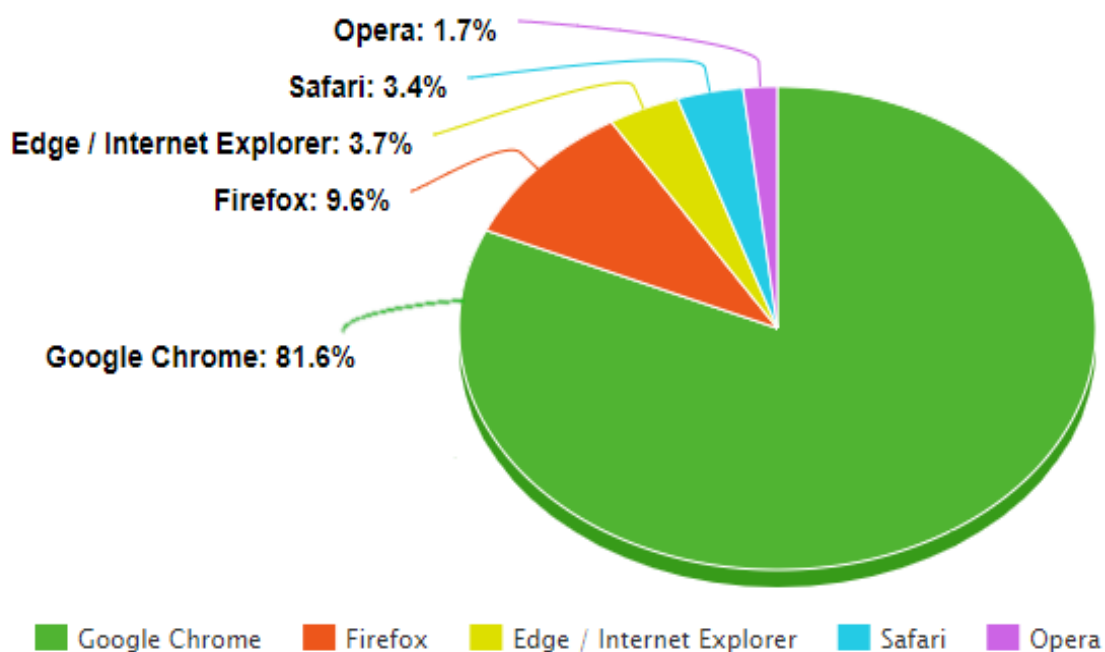
Assim, o processo de busca iniciou-se com o objetivo de integrar o Math2Text com leitores de tela, contudo, percebeu-se que existem muitos leitores de tela distintos disponíveis no mercado, tanto pagos quanto gratuitos, mas que não são compatíveis

entre si, o que divide a fatia de usuários em pequenos números. Dessa forma, na busca por elementos comuns entre os usuários dos diferentes leitores de tela, observou-se que os navegadores de internet funcionam em qualquer tipo de computador e leitor de tela.

A partir da ideia de utilizar os navegadores, buscaram-se fontes para atestar quais navegadores de internet as pessoas com deficiência visual utilizam. Dessa forma, por meio das pesquisas “*WebAIM surveyed preferences of screen reader users*” (WEBAIM, 2019) e “Pesquisa do Uso de Leitores de Tela 2.0” (“Resultados - Pesquisa brasileira sobre o uso de leitores de tela 2.0,” 2020) discutidas no Capítulo 6 desta pesquisa, constatou-se que mais de 80% dos usuários de leitores de tela utilizam os navegadores Chrome ou Firefox para acessar a internet.

Números corroborados na pesquisa da W3Counter (2019), a qual, em um universo de 50 milhões de usuários do site, independentemente de deficiência declarada, levantou qual navegador os usuários utilizam para acessar a internet, esses dados são apresentados na Figura 25, que apresenta um gráfico referente ao uso de navegadores web.

Figura 25 – Percentual de usuários de softwares Navegadores Web.



Fonte: W3Counter (2019).

Ao se considerar o percentual de usuários do navegador Google Chrome, com mais de 80% da fatia total, sendo este um percentual bastante significativo, decidiu-

se implementar o Math2Text diretamente no navegador, em formato de um software do tipo extensão/plugin, ou seja, um software que trabalha dentro do navegador e executa funcionalidades próprias (GOOGLE, 2019).

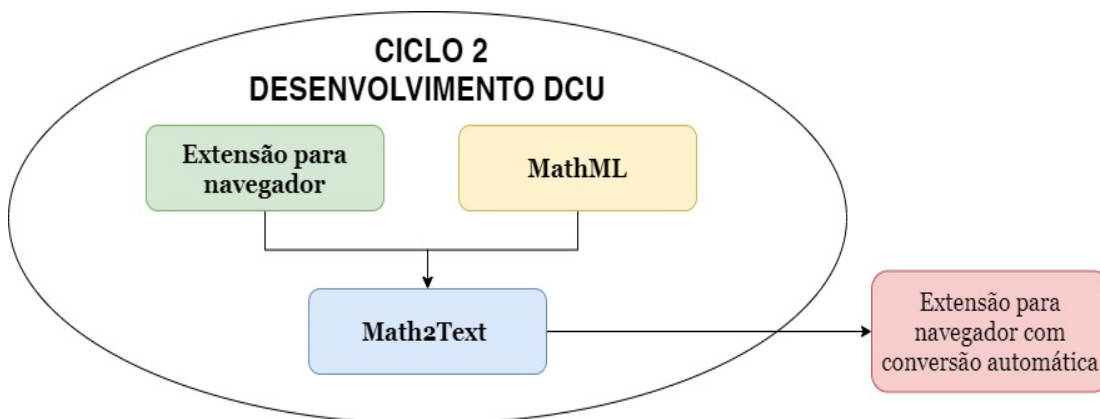
Além disso, esse tipo de software do tipo extensão/plugin é compatível com os navegadores Google Chrome e Firefox, isso permite que o Math2Text funcione em ambos, abrangendo ainda mais pessoas.

Porém, para o desenvolvimento deste tipo de software extensão/plugin, é necessário o desenvolvimento de um novo código, capaz de identificar e interpretar automaticamente expressões matemáticas apresentadas no navegador. Assim, para o novo projeto do sistema e do programa, além da especificação de ser um software tipo extensão/plugin, também se considerou o que o Math2Text já realizava, quais saídas ele já possuía a partir da inserção de uma expressão matemática, neste caso a saída em linguagem de marcação MathML.

Optou-se pelo MathML por ser uma linguagem de marcação específica para a matemática, compatível com os navegadores web e com constante atualização, além de que, desta maneira, o professor poderia continuar criando materiais por meio de uma interface e utilizando as saídas que o Math2Text já realizava, inserindo diretamente no seu material digital as expressões em formato MathML.

Assim, definiu-se o novo projeto do sistema e do programa com o desenvolvimento de uma extensão para o navegador, com a utilização de expressões matemáticas em MathML (Figura 26).

Figura 26 – Modelagem do Ciclo 2 do Math2Text.



Fonte: O Autor (2021).

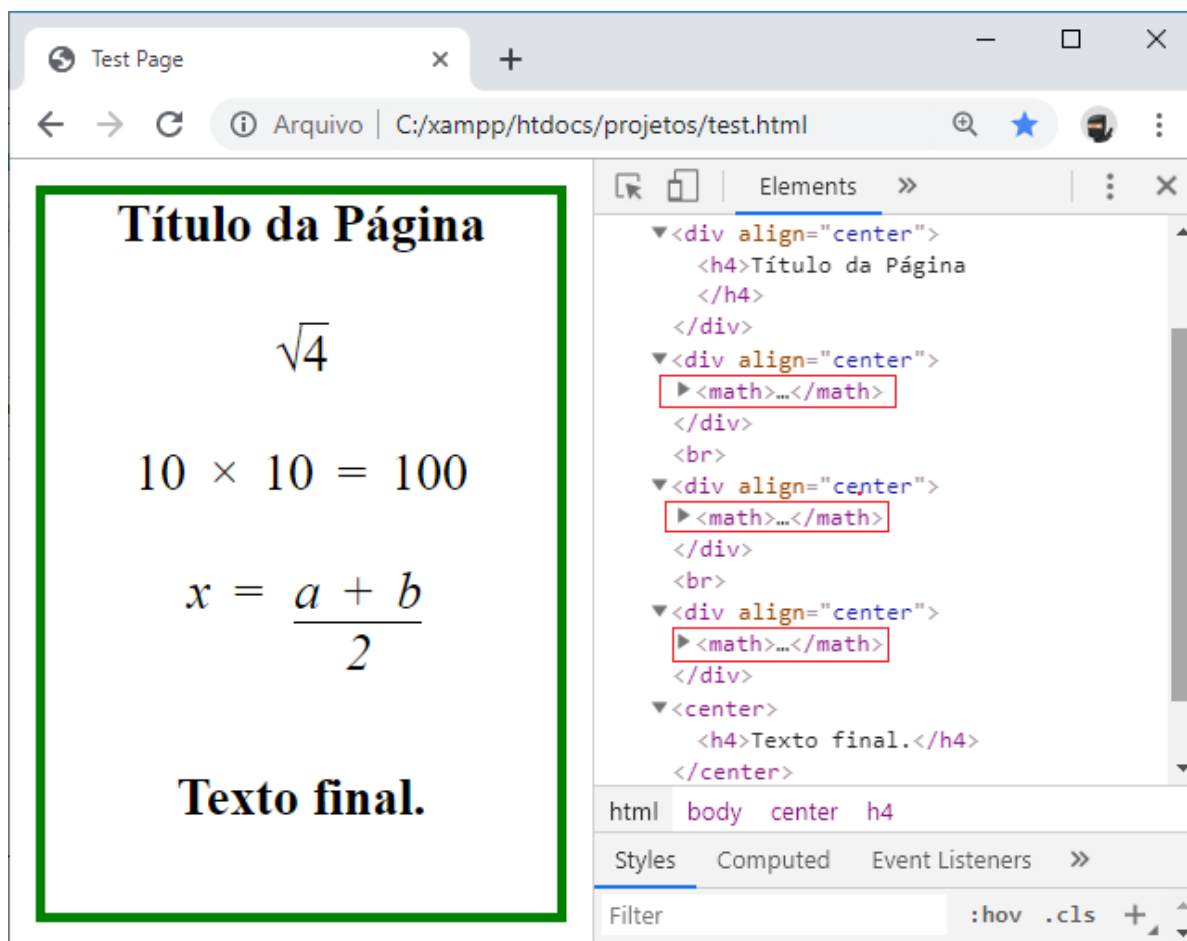
Para a codificação da nova versão do Math2Text, considerou-se o requisito de ser uma extensão para o navegador que identificará expressões matemáticas no formato MathML, e que ocorreu em três etapas:

- Reconhecimento de expressões: A extensão/plugin é executada toda vez que uma nova página web for aberta pelo usuário no navegador, obtendo todas as expressões matemáticas no formato MathML presentes na página.
- Conversão de expressões: Após obtidas todas as expressões em MathML da página, a extensão converterá cada uma delas para um texto acessível, em língua portuguesa, gerando uma descrição textual de cada expressão.
- Apresentação: Após converter, cada expressão será vinculada à sua descrição textual, através de um texto alternativo que contém a denominação da expressão e sua leitura em um formato de texto acessível por qualquer leitor de tela.

Isso resultou em um novo protótipo do Math2Text, que automatiza a leitura das expressões diretamente no navegador, através de uma extensão.

As Figuras 27 e 28 apresentam o funcionamento do Math2Text, possibilitando estabelecer um comparativo entre uma página web, no navegador Google Chrome sem a extensão/plugin instalada e com a extensão/plugin instalada, respectivamente, ambos acessando a mesma página, contendo expressões matemáticas MathML.

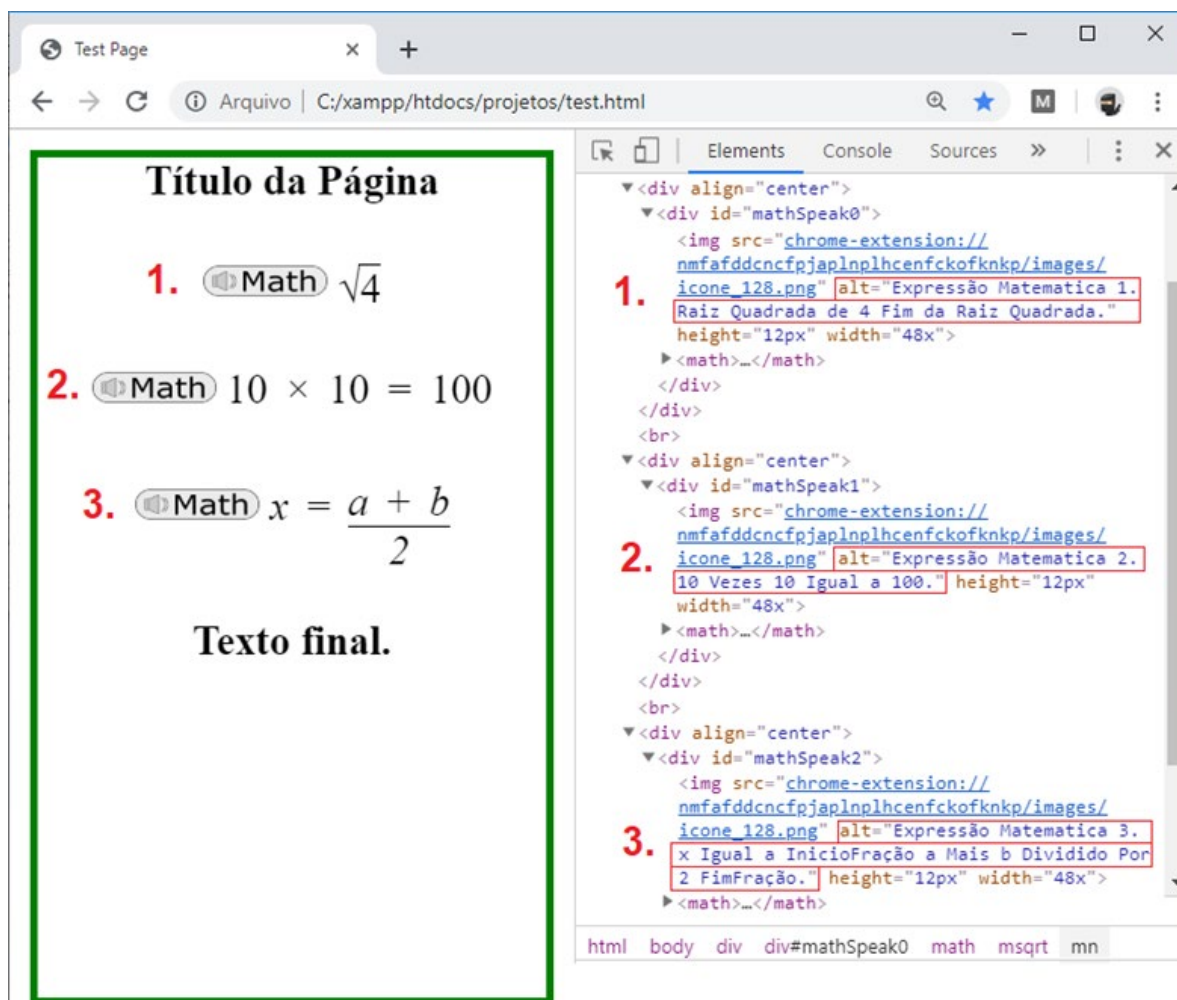
Figura 27 – Visualização do Navegador sem a extensão/plugin instalada.



Fonte: O Autor (2020).

Na Figura 27, sem a extensão/plugin instalada, é possível identificar que o código da página (lado direito) possui apenas as tags matemáticas do MathML, marcadas em vermelho, não contendo nenhum tipo de texto que permita ao software leitor de tela realizar a leitura da expressão matemática.

Figura 28 – Visualização do Navegador com a extensão/plugin instalada.



Fonte: O Autor (2020).

Na Figura 28, com a extensão/plugin instalada, o navegador apresenta uma imagem com o logo da extensão/plugin “Math” ao lado de cada expressão matemática da página (lado esquerdo). Além disso, para cada expressão na página, há um texto alternativo (atributo alt) e acessível no código dela (lado direito) marcado em vermelho. Nesse caso, quando o software leitor de tela tentar ler a expressão matemática, ele realizará a leitura desse texto alternativo, em que consta a descrição textual da expressão, permitindo ao usuário compreender a expressão matemática que antes era ignorada pelo leitor.

O desenvolvimento deste protótipo teve como objetivo principal a conversão automática de expressões matemáticas apresentadas em formato MathML no navegador, para um formato de texto transcrito com sua inserção automática como texto alternativo em sua descrição.

Após os testes realizados pelo pesquisador, o próximo passo foi a avaliação com os usuários, com a realização do teste de aceitação. Para a avaliação, utilizou-se uma entrevista e a observação direta da tarefa. A realização de um novo caso de teste de aceitação, no Math2Text, com um novo grupo de usuários, sendo um professor e seis estudantes deficientes visuais, que será detalhado na seção 8.4 sobre o processo de avaliação.

8.3 RIGOR DA PESQUISA

Seguindo a pesquisa baseado no DSR, é importante destacar o rigor e a relevância da pesquisa, características indispensáveis a qualquer pesquisa científica. Portanto, foram consideradas as instruções gerais para condução/avaliação adaptadas para esta pesquisa a partir da proposta de Hevner *et al.* (2004), já citadas anteriormente.

Dessa forma, para garantir a qualidade da pesquisa, foi demonstrada a sua relevância ao se buscar preencher as lacunas da tecnologia assistiva para acesso à linguagem matemática através do computador, propondo-se um artefato através de processos metodológicos bem definidos, pautados na Engenharia de Software e no DCU, além de se demonstrar sua utilização através de avaliações por testes de aceitação. Isso corrobora Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015): “[...] uma avaliação rigorosa do artefato e dos resultados obtidos na pesquisa contribuirá para a robustez do trabalho, bem como para assegurar a confiabilidade de seus resultados”.

Thomas e Hatchuel (2009) também abordam que, para uma pesquisa ser confiável, é necessário existir uma preocupação com o rigor, desde a sua condução até a apresentação de seus resultados. E isso foi demonstrado nesta pesquisa, desde o seu processo de busca de soluções, por meio dos ciclos de desenvolvimento centrado no usuário, o que resultou em dois ciclos. No primeiro ciclo de desenvolvimento, o artefato resultante foi uma ferramenta para criação de expressões matemáticas de forma visual e sua transformação para formatos acessíveis, tal como o MathML, focando-se no desenvolvimento de materiais para ensino de matemática. No segundo ciclo, obteve-se um plugin que automatiza a leitura de expressões em formato MathML, através do navegador pelo leitor de tela.

8.4 AVALIAÇÃO

Esta seção descreve a execução das avaliações realizadas na tecnologia assistiva desenvolvida, a partir dos testes de aceitação realizados com os usuários, nos dois ciclos de desenvolvimento na busca por soluções, descritos anteriormente, na seção 8.2.

A avaliação do primeiro ciclo consistiu em realizar testes de software (unitário, sistema) pela equipe de desenvolvimento, de acordo com o Modelo V (PFLEEGER, 2004). Este modelo diz que o acompanhamento contínuo, com diferentes tipos de testes, garante um processo de qualidade com ênfase verificação e validação, e o teste de aceitação com o grupo de usuário final. Foi realizado pela observação direta do processo através da verificação do caso de teste apresentado, a fim de se verificar como ocorreu e se ocorreu a identificação das expressões matemáticas através do Math2Text, tal como definido na metodologia da pesquisa.

O teste foi realizado com o grupo de estudantes da APADEVI do município de Ponta Grossa-PR, em dezembro de 2018. Participaram do teste um professor vidente e cinco alunos com deficiência visual, de diferentes idades e formações, mas todos com conhecimentos básicos de matemática e da tecnologia assistiva, usuários do leitor de tela NVDA, os quais foram apresentados detalhadamente no Capítulo 7 da metodologia. Essa primeira avaliação consistiu em duas etapas. Na primeira etapa, o professor preparou previamente com o pesquisador, através do primeiro protótipo do Math2Text, uma lista de 5 expressões matemáticas: $1+1$, $4-2$, 10×10 , $10/5$ e $\sqrt{4}$. Depois, as expressões foram inseridas em uma página HTML de duas maneiras: na primeira, somente em formato MathML e, na segunda, com o formato imagem das expressões e o texto alternativo inserido no atributo alt.

As duas formas foram abertas em abas separadas do navegador Google Chrome. A ação gerou o caso de teste apresentado na Figura 29, utilizada pelo pesquisador para realizar suas observações e anotações.

Figura 29 – Caso de teste para o teste de aceitação do Ciclo 1 de desenvolvimento

Teste de Aceitação 1: Math2Text			
Data: Dez/2018			
Local: APADEVI – Ponta Grossa			
Participantes: 1 professor e 5 estudantes			
Versão 1.0 Math2Text			
Entrada de dados	Saída esperada texto inserido no atributo alt	Saída esperada formato imagem	Saída esperada em MathML
1+1	<i>um Mais um</i>	$1 + 1$	<code><math xmlns="http://www.w3.org/1998/Math/MathML" display="block"><mn>1</mn><mo>+</mo><mn>1</mn></math></code>
4-2	<i>quatro Menos dois</i>	$4 - 2$	<code><math xmlns="http://www.w3.org/1998/Math/MathML" display="block"><mn>4</mn><mo>-</mo><mn>2</mn></math></code>
10x10	<i>dez Vezes dez</i>	10×10	<code><math xmlns="http://www.w3.org/1998/Math/MathML" display="block"><mn>10</mn><mo>x</mo><mn>10</mn></math></code>
10/5	<i>InicioFração dez Sobre cinco FimFração</i>	$\frac{10}{5}$	<code><math xmlns="http://www.w3.org/1998/Math/MathML" display="block"><mfrac><mn>10</mn><mn>5</mn></mfrac></math></code>
$\sqrt{4}$	<i>InicioRaizQuadra da quatro FimRaizQuadra</i>	$\sqrt{4}$	<code><math xmlns="http://www.w3.org/1998/Math/MathML" display="block"><msqrt><mn>4</mn></msqrt></math></code>
Comentários:			

Fonte: O Autor (2020).

Nesta primeira etapa, ocorrida antes da participação dos alunos, o professor relatou ter conhecimentos da linguagem de marcação HTML, além de se mostrar animado com as possibilidades do Math2Text.

Após a preparação do teste junto com o professor, a segunda etapa ocorreu com a participação de cinco estudantes que adentraram no laboratório, sentando-se em computadores individuais. Eles já estavam informados e esclarecidos sobre o objetivo da atividade, então o professor explicou que seriam apresentadas expressões matemáticas e que eles deveriam responder oralmente.

Assim, em um primeiro momento (Figura 30), foram apresentadas a página com as expressões matemáticas desenvolvidas sem a descrição textual, apenas em formato MathML, e com o leitor de tela NVDA ativo em cada computador dos estudantes. Observou-se que os estudantes não conseguiram identificar e responder nenhuma das expressões matemáticas apresentadas pelo professor e se sentiam desorientados na página. Os estudantes consideraram que o leitor não estava funcionando.

Figura 30 – Expressões matemáticas apresentadas no Teste de Aceitação do Ciclo 1

$$1 + 1$$

$$4 - 2$$

$$10 \times 10$$

$$\frac{10}{5}$$

$$\sqrt{4}$$

```

...<html xmlns="http://www.w3.org/1999/
  ><head>...</head>
  ><body>
    ><div align="center">
      ><math>
        <mn>1</mn>
        <mo>+</mo>
        <mn>1</mn>
      </math>
    </div>
    ><div align="center">
      ><math>
        <mn>4</mn>
        <mo>...</mo>
        <mn>2</mn>
      </math>
    </div>
    ><div align="center">
      ><math>
        <mn>10</mn>
        <mo>x</mo>
        <mn>10</mn>
      </math>
    </div>
  </body>
</html>

```

Fonte: O Autor (2020).

A partir desse resultado, o professor relembrou o objetivo do teste e explicou que as expressões foram apresentadas em um formato incompatível com os leitores de tela e que, na sequência, iria apresentar novamente as expressões matemáticas, mas em um novo formato, o qual deveria ser compatível.

Simultaneamente, o pesquisador realizou anotações, constatando que as expressões não foram identificadas, como era previsto, além de perceber que alguns dos estudantes insistiam com o leitor de tela, tentando identificar algum elemento na página, mas não obtendo sucesso.

Então, o professor orientou-os para que alterassem a aba do navegador. Nesta nova aba, as expressões foram apresentadas em formato de imagem com as respectivas descrições textuais no atributo ALT da linguagem de marcação HTML, obtidas a partir do Math2Text.

Depois disso, solicitou-lhes para que tentassem ler novamente as expressões e respondê-las, indicando o valor oralmente. Foi possível a leitura de todas as expressões matemáticas apresentadas. Tendo em vista as respostas simultâneas, o professor dirigiu-se a cada aluno individualmente, solicitando-lhes que respondessem, oralmente, um por vez, o valor das expressões apresentadas.

Durante esse momento, o pesquisador realizou a verificação do caso de teste, atestando que as saídas esperadas condiziam com a realidade, além de registrar algumas observações, tais como a leitura pelo leitor de tela, o qual a realiza linha a linha, e em cada imagem de expressão matemática o leitor de tela realizava a seguinte leitura falada:

Gráfico um mais um

Gráfico quatro menos 2

Gráfico dez vezes dez

Gráfico iniciofração dez sobre cinco fimfração

Gráfico inicioraizquadrada quatro fimraizquadrada

A palavra “gráfico” era citada, pois o leitor de tela identificou uma imagem, um elemento gráfico, então o mesmo informa o usuário que é um elemento gráfico. Porém, isso não foi explicado previamente e um dos alunos que realizava o teste perguntou se era um gráfico ou uma expressão matemática. O professor interveio e explicou que era um elemento gráfico, uma imagem com a expressão matemática, então, o aluno compreendeu e conseguiu realizar a tarefa proposta.

Esta intervenção contribui para demonstrar a importância do professor no processo de ensino, utilizando-se de recursos da tecnologia assistiva como instrumento de mediação, fato que corrobora os estudos de Barbosa *et al.* (2020, p. 6), que consideram que:

[...] o envolvimento e atuação do professor são essenciais para mobilização e aplicação das técnicas de educação especial, é importante estimular a reflexão e difundir os estudos e novas tecnologias que venham a mediar o processo de inclusão dos alunos com deficiência visual.[...]

Neste sentido, Castaman e Rodrigues (2020, p.9) também discutem o papel do professor, considerando que ele é o centro do processo de produção do conhecimento, sendo necessário assumir a responsabilidade pelo ensino e pela aprendizagem, mas possibilitando “gradativa autonomia, empoderamento e autodeterminação do estudante para a produção do conhecimento”.

Após o teste, os estudantes apresentaram feedbacks positivos, no sentido de autonomia e utilização do Math2Text, registrados pelo pesquisador por meio das observações e anotações nos casos de teste, os quais sugeriram uma maior abrangência e a disseminação da tecnologia desenvolvida, o que, na visão deles, seria de muita importância para a comunidade com deficiência visual.

O professor destacou que o processo de desenvolvimento das expressões com o Math2Text foi fácil, porém trabalhoso, pois considerou que se não tivesse conhecimentos da linguagem de marcação HTML, teria dificuldades, e sugeriu que se busque mais automatização no processo, tal como também discutido nos trabalhos de Bier e Sroczyński (2019) e Spinczyk *et al.* (2019).

Então, a partir desses testes e observações, identificaram-se os seguintes pontos de melhoria no processo do primeiro ciclo:

- Ao elaborar os testes, inserir textos de início e fim, objetivando que o usuário saiba onde começa e termina, independentemente de estar utilizando o Math2Text ou não.
- Identificar qual expressão está sendo lida, a fim de evitar que o leitor de tela leia a expressão com o termo “Gráfico”.
- Automatizar o processo reconhecimento das expressões.
- Integrar com leitores de tela.

Assim, esse primeiro protótipo vem ao encontro da necessidade de existirem ferramentas para desenvolver materiais acessíveis em meios digitais, contudo, identificaram-se pontos de melhoria, necessitando de um novo ciclo do DCU, com vistas a automatizar e facilitar o processo.

No segundo ciclo de desenvolvimento, buscou-se melhorar os itens identificados no processo, resultando em um plugin para o navegador, com automatização de leitura de expressões matemáticas, no formato MathML.

A avaliação do segundo ciclo também consistiu em realizar testes de software (unitário, sistema) pela equipe de desenvolvimento, seguindo as mesmas métricas definidas no ciclo anterior e o teste de aceitação com o grupo de usuário final, realizando-se observação direta do processo, seguida de uma entrevista informal, com registro em vídeo.

Esse teste foi realizado com o grupo de estudantes da APADEVI do município de Guarapuava-PR, em dezembro de 2019. Participaram do teste um professor vidente e seis alunos com deficiência visual (Figura 31), de diferentes idades e formações, entretanto, todos com conhecimentos básicos de matemática e da tecnologia assistiva, usuários do leitor de tela NVDA. Os detalhes foram apresentados no Capítulo 7 de metodologia.

Figura 31 – Grupo de alunos realizando o teste de aceitação do ciclo 2 em laboratório.



Fonte: O Autor (2019).

Essa segunda avaliação consistiu em duas etapas. Na primeira, o professor que estava participando do teste preparou previamente, com o pesquisador, os computadores do laboratório, instalando o Math2Text no navegador Google Chrome e configurando um atalho para ativação do MATH2Text diretamente pelo teclado.

Foram disponibilizados nesses computadores, através do navegador Google Chrome, a lista com 12 expressões, igualdades e identidades matemáticas, as quais foram desenvolvidas previamente em MathML, utilizando a primeira versão do Math2Text. Essa ação gerou o caso de teste apresentado no Quadro 4, o qual o pesquisador utilizou para realizar suas observações e anotações.

Quadro 4 – Caso de teste para o teste de aceitação do Ciclo 2 de desenvolvimento.

Teste de Aceitação 2: Math2Text			
Data: Dez/2019			
Local: APADEVI – Guarapuava			
Participantes: 1 professor e 6 estudantes			
Versão 2.0 Math2Text			
#	Expressão apresentada	Entrada de dados em MathML	Leitura esperada pelo Leitor de Tela
1	$1 + 1 = 2$	$\langle \text{math} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 1 \langle / \text{mn} \rangle$ $\langle \text{mo} \rangle + \langle / \text{mo} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 1 \langle / \text{mn} \rangle$ $\langle \text{mo} \rangle = \langle / \text{mo} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 2 \langle / \text{mn} \rangle$ $\langle / \text{math} \rangle$	Equação Matemática 1. 1 Mais 1 Igual a 2.
2	$4 - 2 = 2$	$\langle \text{math} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 4 \langle / \text{mn} \rangle$ $\langle \text{mo} \rangle - \langle / \text{mo} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 2 \langle / \text{mn} \rangle$ $\langle \text{mo} \rangle = \langle / \text{mo} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 2 \langle / \text{mn} \rangle$ $\langle / \text{math} \rangle$	Equação Matemática 2. 4 2 Igual a 2.
3	$10 \times 10 = 100$	$\langle \text{math} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 10 \langle / \text{mn} \rangle$ $\langle \text{mo} \rangle \times \langle / \text{mo} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 10 \langle / \text{mn} \rangle$ $\langle \text{mo} \rangle = \langle / \text{mo} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 100 \langle / \text{mn} \rangle$ $\langle / \text{math} \rangle$	Equação Matemática 3. 10 Vezes 10 Igual a 100.
4	$\frac{10}{5}$	$\langle \text{math} \rangle$ $\langle \text{mfrac} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 10 \langle / \text{mn} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 5 \langle / \text{mn} \rangle$ $\langle / \text{mfrac} \rangle$ $\langle / \text{math} \rangle$	Equação Matemática 4. Início Fração 10 Dividido Por 5 Fim Fração.

5	$\sqrt{4}$	$\langle \text{math} \rangle$ $\langle \text{msqrt} \rangle \langle \text{mn} \rangle 4 \langle \text{mn} \rangle \langle \text{msqrt} \rangle$ $\langle \text{math} \rangle$	Equação Matemática 5. Raiz Quadrada de 4 Fim da Raiz Quadrada.
6	2^3	$\langle \text{math} \rangle$ $\langle \text{msup} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 2 \langle \text{mn} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 3 \langle \text{mn} \rangle$ $\langle \text{msup} \rangle$ $\langle \text{math} \rangle$	Equação Matemática 6. 2 Elevado a 3 FimExponenciação.
7	$x = \frac{a + b}{2}$	$\langle \text{math} \rangle$ $\langle \text{mi} \rangle x \langle \text{mi} \rangle$ $\langle \text{mo} \rangle = \langle \text{mo} \rangle$ $\langle \text{mfrac} \rangle$ $\langle \text{mrow} \rangle$ $\langle \text{mi} \rangle a \langle \text{mi} \rangle$ $\langle \text{mo} \rangle + \langle \text{mo} \rangle$ $\langle \text{mi} \rangle b \langle \text{mi} \rangle$ $\langle \text{mrow} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 2 \langle \text{mn} \rangle$ $\langle \text{mfrac} \rangle$ $\langle \text{math} \rangle$	Equação Matemática 7. x Igual a InícioFração a Mais b Dividido Por 2 FimFração.
8	$x = \frac{a}{b}$	$\langle \text{math} \rangle$ $\langle \text{mi} \rangle x \langle \text{mi} \rangle$ $\langle \text{mo} \rangle = \langle \text{mo} \rangle$ $\langle \text{mfrac} \rangle$ $\langle \text{mi} \rangle a \langle \text{mi} \rangle$ $\langle \text{mi} \rangle b \langle \text{mi} \rangle$ $\langle \text{mfrac} \rangle$ $\langle \text{math} \rangle$	Equação Matemática 8. x Igual a InícioFração a Dividido Por b FimFração.
9	$a^2 + b^2 = c^2$	$\langle \text{math} \rangle$ $\langle \text{msup} \rangle$ $\langle \text{mi} \rangle a \langle \text{mi} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 2 \langle \text{mn} \rangle$ $\langle \text{msup} \rangle$ $\langle \text{mo} \rangle + \langle \text{mo} \rangle$ $\langle \text{msup} \rangle$ $\langle \text{mi} \rangle b \langle \text{mi} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 2 \langle \text{mn} \rangle$ $\langle \text{msup} \rangle$ $\langle \text{mo} \rangle = \langle \text{mo} \rangle$ $\langle \text{msup} \rangle$ $\langle \text{mi} \rangle c \langle \text{mi} \rangle$ $\langle \text{mn} \rangle 2 \langle \text{mn} \rangle$ $\langle \text{msup} \rangle$ $\langle \text{math} \rangle$	Equação Matemática 9. a Elevado a 2 FimExponenciação Mais b Elevado a 2 FimExponenciação Igual a c Elevado a 2 FimExponenciação.
10	$y = \frac{1}{2} + x$	$\langle \text{mfrac} \rangle$ $\langle \text{mo} \rangle + \langle \text{mo} \rangle$ $\langle \text{mi} \rangle x \langle \text{mi} \rangle$ $\langle \text{math} \rangle$	Equação Matemática 10. y Igual a InícioFração 1 Dividido Por 2 FimFração Mais x.

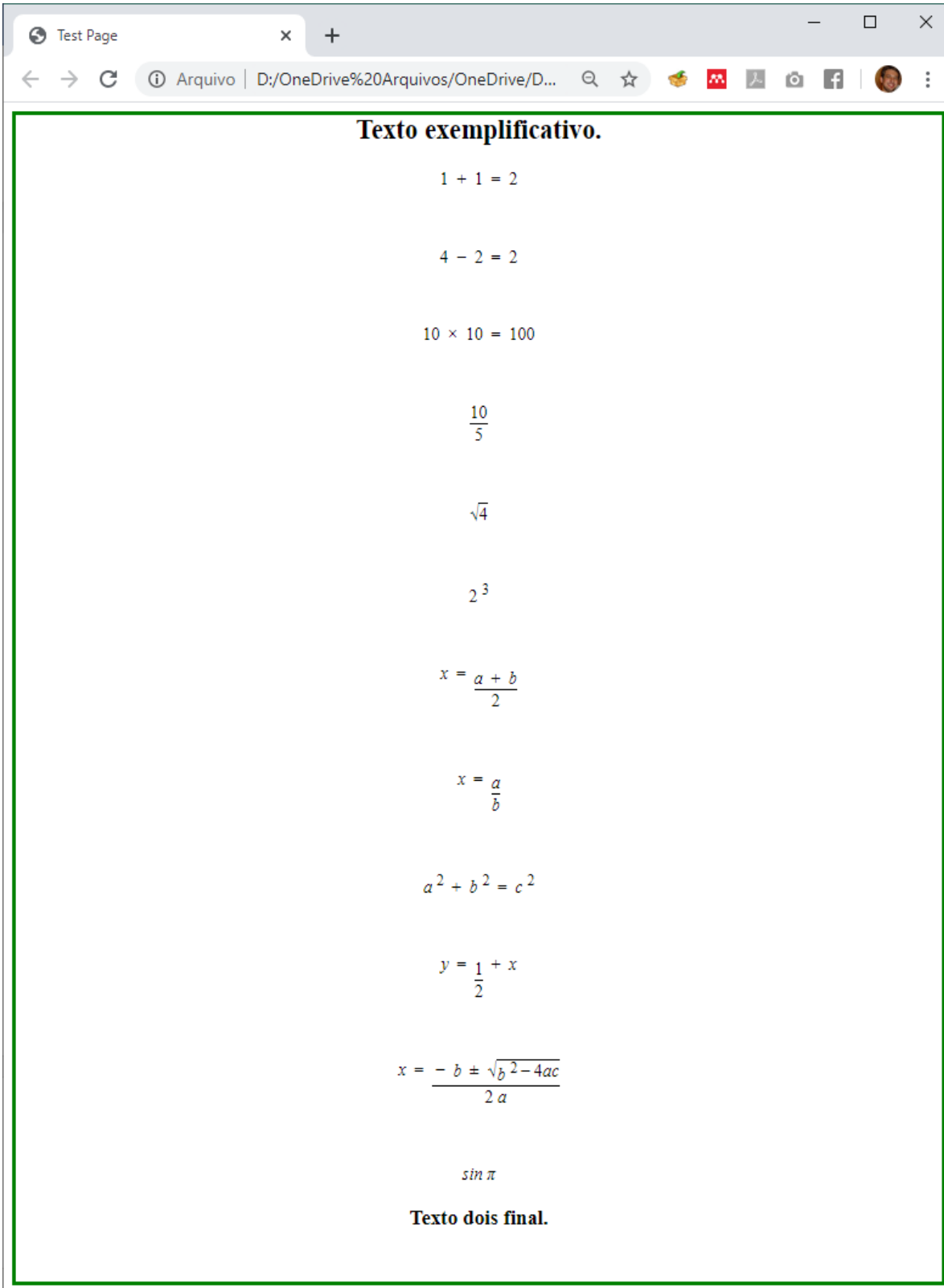
11	$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	<pre> <math> <mi>x</mi> <mo>=</mo> <mfrac> <mrow> <mo>-</mo> <mi>b</mi> <mo>\pm</mo> <msqrt> <msup> <mi>b</mi> <mn>2</mn> </msup> <mo>-></mo> <mn>4</mn> <mi>a</mi> <mi>c</mi> </msqrt> </mrow> <mrow> <mn>2</mn> <mi>a</mi> </mrow> </mfrac> </math> </pre>	Equação Matemática 11. x Igual a InícioFração b Raiz Quadrada de b 2 Fim da Raiz Quadrada Dividido Por 2 a FimFração.
12	$\sin \pi$	<pre> <math> <mi>\sin</mi> <mi>\pi</mi> </math> </pre>	Equação Matemática 12. Seno De PI.
Comentários:			

Fonte: O Autor (2020).

Após a preparação junto com o professor, os seis estudantes, já informados e esclarecidos sobre o objetivo da atividade, adentraram no laboratório, sentando-se em computadores individuais. O professor e o pesquisador explicaram que seriam apresentadas expressões matemáticas e que eles deveriam repetir o que estavam ouvindo.

Explicou-se que os testes seriam divididos em dois momentos, ambos com as expressões (Figura 32) que já estavam abertas no navegador: no primeiro, as expressões, desenvolvidas em MathML, sem o Math2Text ativado no navegador; e no segundo, com o Math2Text ativado no navegador, em cada interação, perguntava-se para os alunos se conseguiam identificar algo e, se conseguissem, deveriam repetir. Os registros foram realizados através de observação e anotação.

Figura 32 – Expressões utilizadas no teste



The image shows a screenshot of a web browser window. The browser's address bar displays the URL "D:/OneDrive%20Arquivos/OneDrive/D...". The page content is enclosed in a green border and features the following text and mathematical expressions:

Texto exemplificativo.

$1 + 1 = 2$

$4 - 2 = 2$

$10 \times 10 = 100$

$\frac{10}{5}$

$\sqrt{4}$

2^3

$x = \frac{a + b}{2}$

$x = \frac{a}{b}$

$a^2 + b^2 = c^2$

$y = \frac{1}{2} + x$

$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

$\sin \pi$

Texto dois final.

Fonte: O Autor (2019).

Destaca-se que, no teste anterior, realizado no primeiro ciclo de desenvolvimento com os estudantes da APADEVI Ponta Grossa, os estudantes

havia relatado que, no momento em que eram apresentadas as expressões sem a utilização do Math2Text, não era possível ler nada com o leitor de tela, o que gerava uma desorientação. Pensando nisso, neste segundo teste, inseriram-se as frases “Texto exemplificativo” no início da página e “Texto dois final” ao fim da página (Figura 32). Desta maneira, mesmo sem a utilização do Math2Text, os estudantes poderiam saber que estavam na página correta.

Assim, em um primeiro momento (Figura 32), foi apresentada a página com as expressões matemáticas desenvolvidas sem a descrição textual, apenas em formato MathML e com o leitor de tela NVDA ativo e o plugin do Math2Text desativado em cada computador dos estudantes. Neste momento, não foi possível identificar nenhuma das expressões, os estudantes apenas conseguiram ler as frases “Texto exemplificativo” e “Texto dois final”. Os estudantes relatavam que não era possível ler mais nada. Desta forma, o professor os orientou para que ativassem a extensão do Math2Text no navegador Google Chrome, pelo atalho de teclado previamente configurado e tentassem ler novamente, partindo para o segundo momento do teste.

Neste segundo momento, todos os estudantes conseguiram identificar as expressões, replicando o que ouviam em voz alta e, alguns casos (numéricos), dizendo o valor das expressões. O pesquisador se dirigiu de forma individual a cada estudante, com o seu caso de teste (Quadro 4), realizando o registro das observações e confirmando se as transcrições ocorreram da forma esperada. Essas transcrições corretas relacionam-se com o processo de verbalização implementado no Math2Text, o que demonstra que a estratégia utilizada de leitura linear foi acertada, a qual legitima estratégias semelhantes de outros trabalhos (DIAS *et al.*, 2018; BIER; SROCZYŃSKI, 2019). Destaca-se, a partir dessas observações que, tecnicamente, o Math2Text mostrou-se robusto, funcionando em diferentes computadores e atingindo o objetivo proposto de automatização da conversão das expressões matemáticas.

Porém, por mais que todos os estudantes tenham conseguido realizar a correta leitura e interpretação das expressões apresentadas, alguns não entendiam os conceitos matemáticos envolvidos, apenas replicando o que estavam ouvindo através do leitor de tela. Assim, destaca-se a importância do papel do professor no processo de ensino, pois é ele o responsável, o mediador no ensino dos conceitos matemáticos. A tecnologia assistiva Math2Text, assim como todas as outras já disponíveis, se constituem como um recurso no processo de ensino, na promoção da aprendizagem e na generalização do conhecimento, aplicado em diferentes contextos.

Essa afirmação vem ao encontro do que propõe Vigotski (1999), o qual considera que, em um primeiro momento, o conhecimento científico é ensinado pelo professor, o aluno aprende por meio da ação sobre o objeto do conhecimento e da interação com o professor e seus pares, esse conhecimento é internalizado (abstraido) e depois, generalizado em diferentes situações.

Considera-se que a utilização do Math2Text expressa essa generalização do conhecimento, permitindo a aplicação em diferentes contextos, como uma tecnologia assistiva mediadora do ensino de matemática.

Após a realização dos testes de aceitação, realizou-se uma entrevista informal com esse grupo de estudantes, de acordo com metodologia apresentada no Capítulo 7, com o objetivo de se avaliar as potencialidades e limitações do Math2Text nas perspectivas dos usuários a partir da utilização do Math2Text.

Assim, considera-se que a pesquisa qualitativa se dá em um âmbito particular e subjetivo, no qual cada sujeito expressa sua opinião segundo seu nível de compreensão do mundo e de suas experiências particulares (MOURA, 2018); por sua vez, os dados necessitam de tratamento prático e de bom senso, de modo que sejam transformados em informação pertinente (DAVIS, 1989).

As respostas abertas da entrevista realizada estão diretamente relacionadas ao teste de aceitação da tecnologia e ao contexto dos sujeitos, então, as opiniões dos sujeitos estão dispostas da forma como foram registradas, com uma identificação genérica, seguidas pelas considerações feitas pelo pesquisador. Diante disso, após a realização das entrevistas informais, seguidas de transcrição, realizou-se a análise de conversação (FLICK, 2009), contextualizando com o perfil dos participantes (Quadro 5), o qual resume como serão denominados, idade, qual a deficiência visual declarada e a escolaridade.

Quadro 5 – Participantes da entrevista

Denominação	Idade	Deficiência visual	Escolaridade
Sujeito 1 (S1)	Não quis informar.	Cego	Ensino médio completo.
Sujeito 2 (S2)	48 anos	Baixa visão	Ensino médio completo.
Sujeito 3 (S3)	38 anos	Cego	Superior completo.
Sujeito 4 (S4)	28 anos	Cego	Ensino médio completo.
Sujeito 5 (S5)	45 anos	Cego	Ensino médio completo.
Sujeito 6 (S6)	41 anos	Cego	Superior completo.

Fonte: O Autor (2020).

Durante a entrevista, além da caracterização dos sujeitos apresentada no Quadro 5, destaca-se que um dos participantes era cego congênito, um com baixa visão, e quatro com cegueira adquirida durante a vida, devido a complicações decorrentes de doenças, sendo três relatos de sequelas a partir da diabetes.

Os dados coletados na entrevista foram analisados sob a perspectiva da utilização do Math2Text, assim, de maneira geral, todos os relatos foram positivos, dentre eles destacam-se alguns, como o recorte do Sujeito 2, o qual possui baixa visão, e relata outras possibilidades de acesso ao material através do Math2Text.

Eu achei interessante isso aqui pra gente que tem um pouco de visão ainda explicando bem explicado é melhor, que nem eu que tem um pouco de visão quero entrar dentro do computador pra ler, agora lendo assim bem especificamente pra gente já fica bom. (S2)

Esse recorte corrobora Bersh (2017), ao considerar que a tecnologia assistiva são recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência, além de estar alinhado aos preceitos do Desenho Universal citados anteriormente.

Pensando nessa ampliação de recursos, o Sujeito 5 relata que o Math2Text pode ser uma alternativa ao ensino de matemática:

[...] se tivesse um programa assim da matemática, talvez eu tivesse pesquisado mais a fundo antes, o braille é muito... pra gente que é cego ele é bom, mas tipo contas tipo assim ele fica muito extenso, e um programa deixa mais fácil e dá abem mais autonomia. (S5)

Já o Sujeito 6, ao relatar sua experiência com o Math2Text, relaciona com um episódio de avaliação durante o curso superior e as possibilidades que poderia ter a partir do Math2Text, bem como as relações de compensação:

Se eu tivesse antes, nossa... sabe, eu era... falando em termos de avaliação, o professor dava uma folha de 10 questões, da parte de cálculo de contabilidade, enquanto meus colegas resolviam as 10 eu conseguia fazer uma, e eu ganhava a nota daquelas outras por ter conseguido fazer aquela uma... entendeu... e para eles era a mesma coisa, tanto faz, dava a nota, queria dar a nota, mas eu me empenhava e queria saber [...] eu ainda conseguia fazer uma coisa ou outra porque eu tenho memória visual, eles me falavam, eu jogava na cabeça, demora, errava e coisa ou outra conseguir fazer.... mas foi muito bom, se eu tivesse um programa como esse, nossa, eu iria tirar de letra, acho que até fazia antes deles... porque a matemática em si não é o problema, o problema é para você ler, como você vai colocar ali no papel, como você vai passar para o computador, muitas vezes você

acompanha o raciocínio, mas as vezes precisa anotar algo, essa é a complicação. (S6)

O trecho apresentado pelo sujeito S6 permite relacionar com os estudos de defectologia de Vigotski (1993) e a ideia de compensação, demonstrando a reestruturação de toda atividade fisiológica, atestando a capacidade de fazer uso de outros canais de recepção, como tato, audição, dentro outros, além do armazenamento das informações, como a memória, como meio de compensação de sua deficiência.

O Sujeito 3 destaca um ponto importante sobre o acesso à tecnologia, torná-la acessível e usável a todos:

Eu digo pra você que com essa ferramenta que está sendo desenvolvida aí vai dar muita autonomia pra galera, claro que vai ter que refinar, mas eu não sou muito fã de computador, devida a minha geração, mas essa galera nova aí que gosta da informática, esse povo vai tirar de letra, nossa vai ajudar e muito! (S3)

Esse relato tem relação com a acessibilidade e a usabilidade: a primeira se preocupando com a qualidade do acesso para qualquer pessoa, e a segunda garantindo o acesso, estando todos relacionados com os preceitos do desenho universal.

Por fim, apresenta-se mais um recorte do Sujeito 6, o qual relata sobre a necessidade de um pensamento completo sobre acessibilidade, desenho universal e não apenas em questões pontuais:

A faculdade acha que é só ter um piso táctil, um corrimão e ali bastou, mas não é só isso, eles precisam ser especializados na parte do ensino, na parte pedagógica para poder explicar para os alunos, muito legal, você está de parabéns. (S6)

Mostra-se que a comunicação se torna mais fácil se todos os agentes do processo de aprendizagem soubessem utilizá-la e pensassem em todos os envolvidos. A afirmação confirma os estudos de Galvão Filho (2009), ao relacionar que as tecnologias de informação e comunicação trouxeram muitos recursos para a inclusão, porém, o acesso, a disseminação e correta manipulação desses recursos não ocorre com a mesma lógica.

Outros autores também relatam a dificuldade na utilização das tecnologias, devido à necessidade de infraestrutura adequada, adaptação do currículo e de

estratégias pedagógicas (FREIRE *et al.*, 2020; BAO, 2020; CASTAMAN; RODRIGUES, 2020).

Essa concepção aponta para a conclusão de que um indivíduo será mais ou menos deficiente, em termos de funcionalidade e participação, também quanto mais ou menos deficiente ou acessível for o seu ambiente. As intervenções e modificações devem ocorrer, dessa forma, também na sociedade, para que ela possa tornar-se realmente acessível e inclusiva.

Dentre todas as anotações e observações realizadas pelo pesquisador, de maneira geral, é possível apontar, diante dos relatos dos participantes, que os conceitos matemáticos muitas vezes são tratados de forma superficial, para os deficientes visuais, na escola regular.

Consideram que é necessário que o professor possua uma atitude inclusiva, colocando-se no lugar do aluno, com vistas a entender a realidade e, deste modo, possa buscar outros recursos, pensando em um ensino inclusivo para todos.

Apontam também que é preciso ter capacitação e contato com mais tecnologias no contexto escolar para o deficiente visual, possibilitando que mais conteúdos matemáticos possam ser ensinados mediados por tecnologias. Diante disso, é preciso propor alternativas práticas, satisfazendo as necessidades específicas dos cegos durante o processo de aprendizagem.

Outro ponto a se destacar é que as tecnologias fazem parte da vida das pessoas com deficiência visual. Mesmo os que se colocam mais resistentes devido à idade, a utilizam como meio facilitador e consideram que, quando utilizadas de forma adequada, são aliadas ao processo de aprendizagem.

Afirmam que corrobora os resultados da pesquisa de Sganzerla (2014), na qual em um levantamento sobre o conhecimento dos professores e estudantes cegos sobre a tecnologia assistiva, constatou-se que o conhecimento da área e seu uso fica restrito às pessoas cegas e/ou que trabalham diretamente com deficientes visuais, mostrando muito potencial e necessitando de mais disseminação e utilização.

Para finalizar, todos os participantes agradeceram a proposta de desenvolver o Math2Text pensando em suas necessidades e colocaram-se à disposição para auxiliar em novos testes, ao passo que os alunos se mostraram animados e abertos a novas propostas com a utilização do Math2Text após sua disponibilização.

A partir das lacunas levantadas e da problemática definida, considera-se que a utilização de um modelo de desenvolvimento de software em V, em conjunto com o

ciclo centrado no usuário, permitiu desenvolver uma tecnologia assistiva com diversas funcionalidades complementares. Por conseguinte, incentiva os professores a desenvolverem materiais acessíveis aos alunos com deficiência visual, possibilitando-lhes o acesso às informações e condições para que possam interpretar e resolver problemas sobre expressões e equações matemáticas por meio de leitores de tela.

8.5 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa relatada teve como foco a apresentação da Tecnologia Assistiva Math2Text, desenvolvida com o objetivo de preencher as lacunas na visualização e interpretação da linguagem matemática, através do computador, por pessoas com deficiência visual, com o uso de leitores de tela.

Isto posto, a principal contribuição da pesquisa é a disponibilização do Math2Text como uma possibilidade para resolução da problemática levantada, configurando-se como uma ferramenta em português e de disponibilização gratuita.

Não obstante, para a comunidade científica, além de um artefato que pode auxiliar como mediador de ensino da matemática para cegos, destaca-se todo o processo de desenvolvimento do Math2Text, uma vez que ele foi totalmente interdisciplinar. Essa característica possui grande contribuição científica, em virtude de que demonstra a transversalidade do conhecimento, a necessidade de diferentes áreas se comunicarem para ocorrer um avanço científico concreto. Nesta pesquisa, áreas como a matemática, o ensino, a mediação, a computação, o desenho universal, a inclusão, dentre outras, relacionaram-se a fim de se desenvolver uma tecnologia assistiva.

Esse também foi o ponto de maior dificuldade do trabalho, pois o pesquisador precisou se apropriar de conhecimentos de outras áreas – como a área de ensino da matemática e da mediação –, buscando trazer para a computação o seu papel de tecnologia mediadora, através da utilização de suas técnicas para o desenvolvimento de uma tecnologia assistiva focada no usuário.

Isso também se reflete na metodologia utilizada, sendo pautada pela DSR, com a utilização de diversas técnicas e modelos, trazendo o DCU e modelos de desenvolvimento de software, focando no usuário e na resolução do problema apresentado.

Espera-se que esta investigação possa servir de referência, demonstrando-se possibilidades de pesquisas interdisciplinares com uma aplicação em ensino, sempre considerando o professor como o personagem principal do processo de ensino-aprendizagem e as tecnologias como mediadoras, instrumentos facilitadores.

Por fim, espera-se que a principal contribuição da pesquisa seja uma maior inclusão da pessoa com deficiência visual, beneficiando os estudantes e professores, possibilitando recursos para o ensino da matemática e uma atitude inclusiva.

8.6 COMUNICAÇÃO DA PESQUISA

A comunicação da pesquisa visa atender a comunidade científica interessada em desenvolvimento de tecnologia assistiva, teoria da mediação, ferramentas para ensino de matemática inclusivo, acessibilidade, desenvolvimento centrado no usuário, desenho Universal.

Assim, a comunicação da pesquisa ocorreu:

- Por meio de publicações realizadas durante a pesquisa.
 - Artigo completo em periódico internacional: Szesz Junior, Albino, Mendes, Lucas Ribeiro, & Silva, Sani de Carvalho Rutz da. (2020). **Math2Text: Software para geração e conversão de equações matemáticas em texto - limitações e possibilidades de inclusão**. RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, (37), 99- 115. <https://dx.doi.org/10.17013/risti.37.99-115>
 - Capítulo de livro direcionado ao público interessado em Tecnologias, educação e acessibilidade, Jáima Oliveira, Regina Miura, Flaviane Freitas, Marília Blanco, Emely Oliveira (2020). Tecnologias educacionais como suportes para a inclusão escolar. *In*: Szesz Junior, Albino, Mendes, Lucas Ribeiro, & Silva, Sani de Carvalho Rutz da. **Matemática fácil: sistema online para produção de equações matemáticas acessíveis**. (p.11-26). São Carlos/SP: Editora De Castro. DOI: 10.46383/isbn.978-65-86540-08-6.
- Disponibilização do Math2Text em um portal específico com todas as orientações para acesso, instalação e utilização.

- <http://inclusaoemfoco.com.br/math2text/>
- Disponibilização de interface para geração de expressões em MathML com o Matemática Fácil.
 - <http://inclusaoemfoco.com.br/matematicafacil>
- Disponibilização do Math2Text em código aberto, através de repositório para colaboração e desenvolvimento pela comunidade.
 - <https://github.com/albinosj/Math2Text>
- Disponibilização do Math2Text como extensão para o navegador GoogleChrome
 - <https://chrome.google.com/webstore/detail/math2text/dkjbpklcekbnhfbgebghbbhoabfhajlg?hl=pt-BR>
- Através da disponibilização formal do Produto Math2Text.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na história de vida de qualquer pessoa, há situações em que se foi deixado “de lado”, rejeitado, excluído, independentemente do motivo. A sensação nunca é boa, tanto para quem é rejeitado quanto para quem rejeita. Isso faz parte da sociedade, os seres humanos são sociáveis e sempre vão querer aceitação e buscar padrões.

Muitas vezes, essas situações fazem com que as pessoas criem hábitos e tomem atitudes que não lhes fazem e nem para os demais indivíduos à sua volta, mas, com o passar do tempo, aprende-se a conviver com isso.

A pessoa com deficiência sabe perfeitamente como é esse sentimento. Quem não segue a cartilha do padrão social, dos estereótipos definidos, normalmente é deixado de lado, e isso se aplica nas diversas áreas das vidas dos indivíduos, seja no trabalho ou na escola.

Por isso, o desafio da inclusão, do acesso para todas as pessoas, é extremamente grande, pois necessita de uma mudança sociocultural. É preciso desconstruir conceitos e quebrar os paradigmas enraizados em toda formação social, mas, para isso, é necessário estar disposto, ter uma atitude inclusiva para mudar uma visão de mundo, buscando-se novos conhecimentos e horizontes.

Esta pesquisa, além dos objetivos científicos, também objetivou isso, mudar a visão de mundo deste pesquisador, a partir de uma inquietude de mudar o mundo. Entretanto, não sabia por onde começar, não obstante já houvesse identificado algumas lacunas a partir de uma experiência vivenciada de exclusão, onde um aluno, cego, não conseguiu acessar o conteúdo matemático apresentado, em uma disciplina online, através do computador com o uso de leitores de tela. Isso gerou uma frustração no papel como educador deste autor.

A partir desta frustração e inquietude, iniciou-se esta pesquisa e, aos poucos, ela foi se concretizando, de modo que foi possível constatar na literatura e em outras fontes de pesquisa as mesmas lacunas para acesso, disponibilização e interpretação de expressões matemáticas em formato digital.

Portanto, a problemática que pautou toda a pesquisa foi: *“Como uma ferramenta tecnológica assistiva pode ser concebida de forma a suprir as lacunas existentes em outros recursos utilizados pelos alunos cegos, como leitores de tela e softwares, para acessar a linguagem matemática em computadores?”*.

Para respondê-la, definiu-se os objetivos apresentados e para atingi-los apresentou-se a Tecnologia Assistiva Math2Text, que possibilita converter expressões matemáticas escritas em MathML em um texto alternativo, legível em um leitor de tela.

O Math2Text foi desenvolvido e validado através dos critérios de desenvolvimento de software, utilizando-se estratégias da Engenharia de Software e do DCU, com métodos rigorosos, possibilitando que toda a tecnologia fosse pensada no usuário, no deficiente visual, no aluno cego, que não possui recursos para acessar o conteúdo; e no professor, que não possui recursos para elaborar materiais digitais acessíveis, mas também pensando no desenho universal, pois a tecnologia pode ser utilizada por qualquer pessoa.

Um exemplo de como qualquer pessoa poderia utilizar a tecnologia apresentada seria no desenvolvimento de materiais acessíveis, como audiolivros que foram gerados a partir de sintetizadores de fala, da tecnologia TTS, ou qualquer outro tipo de material escrito, lido desta maneira, hoje caso existam expressões matemáticas nestes materiais, elas se tornam uma barreira de acesso.

Durante todo o processo de busca de solução, além dessa aplicação do desenvolvimento de materiais digitais acessíveis, também se constataram as potencialidades na autonomia do usuário, pois o fato de ser associado a navegadores permite atingir uma parcela maior dessa população, independentemente de qual leitor de tela que é utilizado.

Constatou-se, também, a aplicação de conceitos como mediação e compensação, visto que o Math2Text se torna um meio para ensino, um instrumento para mediar o ensino e compensar a falta de outros recursos, porém, isso somente é efetivado se os conceitos foram ensinados pelo professor, destacando-se, portanto, o papel relevante do professor no ensino.

Ao simplesmente se executar o Math2Text, não seria possível entender e interpretar uma expressão matemática falada sem existir a apropriação desses conceitos previamente: quem possibilita isso é o professor, e o Math2Text se inclui como um recurso para auxiliar e mediar este ensino.

Isso foi constatado no processo de avaliação do Math2Text com os usuários, uma vez que só seria possível compreender as expressões apresentadas caso o estudante já possuísse o conhecimento matemático prévio necessário, caso contrário, seria apenas uma replicação do que está sendo ouvido.

Nas avaliações, também se constatou a necessidade de pensar a computação de forma acessível, e como pesquisador e profissional da computação, foi perceptível a necessidade de existirem padrões de desenvolvimento de software acessível, os quais incluam todas as pessoas em sua utilização, necessitando, também, de uma atitude inclusiva dos profissionais, ao pensarem em soluções de software.

Faz-se importante destacar, ainda, as limitações do Math2Text, que ainda não é capaz de interpretar todos os caracteres da linguagem matemática, bem como necessita que seus usuários saibam utilizar a tecnologia assistiva, possuindo domínio do leitor de tela e do computador.

Outro ponto diz respeito à verbalização. Como apresentado na pesquisa, foi utilizado um padrão de leitura linear, buscando-se não ser ambíguo e de como seria a leitura falada daquela expressão matemática. Contudo, em trabalhos futuros, sugere-se buscar padrões de verbalização matemática através do computador e do uso do software, utilizando-se, por exemplo, de treinamento de máquina, da inteligência artificial, a fim de se criar uma base inteligente de interpretações matemáticas a partir do seu uso.

Outro trabalho futuro possível é aumentar a gama de possibilidades na linguagem matemática que o Math2Text suporta, bem como expandir sua utilização para outros navegadores e leitores de tela, integrando-se a tecnologia com leitores de tela de forma nativa, não necessitando se instalarem complementos.

Para realizar trabalhos futuros, acredita-se que o Math2Text continuará em desenvolvimento, uma vez que foi disponibilizado de forma gratuita, em repositório de código aberto, para toda a comunidade. Foi criado um portal na internet com este objetivo, além de se esclarecer o seu funcionamento, gerando recursos para alunos e professores.

Tal disponibilização também se relaciona com o fato de esta pesquisa ser encerrada no contexto da pandemia da COVID-19 e do distanciamento social, com a necessidade crescente de novas tecnologias mediadoras para auxiliar professores e estudantes, pois considera-se que o Math2Text pode contribuir para subsídios no ensino remoto, gerando autonomia e novas possibilidades.

Por fim, toda a pesquisa realizada possibilitou pensar no ensino inclusivo da matemática, em como criar tecnologias e, sobretudo, como unir computação e ensino, utilizando-se modelos de desenvolvimento de software centrados nos usuários, com a mediação no ensino. Ou seja, refletir sobre como criar uma tecnologia assistiva

mediadora para ensino da matemática a pessoas com deficiência visual. Assim, conclui-se que a problemática apresentada foi resolvida, bem como o alcance dos seus objetivos.

Destaca-se que ainda há muito trabalho a ser realizado na área de inclusão, porém, iniciativas como as apresentadas nesta pesquisa, aliando-se tecnologia e acessibilidade, impactam na vida de todos, proporcionando meios para professores elaborarem materiais didáticos acessíveis, bem como a possibilidade de uma correta interpretação de expressões matemáticas apresentadas no computador, através do leitor de tela, de forma autônoma, pelo deficiente visual. Assim, o desenvolvimento da pesquisa cria um caminho a ser percorrido por trabalhos futuros e traça um horizonte com grandes expectativas.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. 2004. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9241-11: Requisitos ergonômicos para o trabalho com dispositivos de interação visual: parte 11 - orientação sobre usabilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO/IEC 12207 - Tecnologia de Informação - Processos de ciclo de vida de software**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- ABREU, S. *et al.* Usability evaluation of a resource to read mathematical formulae in a screen reader for people with visual disabilities. *In: Proceedings of the 18th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019. (IHC '19). ISBN 9781450369718.
- ALEXANDER, B. *et al.* **EDUCAUSE Horizon Report: 2019 Higher Education Edition**. Louisville: [s.n.], 2019. Disponível em: <https://linhadeleitura.files.wordpress.com/2019/05/2019horizonreport.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2020.
- ALEXANDRU, D. **FMATH**. Disponível em: <http://www.fmath.info/>. Acesso em: 27 abr. 2020.
- AMIRALIAN, M.L.T. *et al.* Conceituando deficiência. **Revista de Saúde Pública**, [s. l.], v. 34, 1.ed., p. 97-103, 2000.
- ANDERSON, N.S. *et al.* User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction. **The American Journal of Psychology**, v. 101, n. 1, p. 148, 1988.
- ANJOS, G.P.; PRIETCH, S.S.; FREIRE, A.P. Realização de Testes com Leitores de Tela para Leitura de Fórmulas Matemáticas como Auxílio para Estudantes Cegos. *In: ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA DE MATO GROSSO*, 8., 2017. **Anais [...]** Cáceres: SBC, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Gleber_Marques/publication/332878993_Anais_da_Escola_Regional_de_Informatica_de_Mato_Grosso_2017_-_Sociedade_Brasileira_de_Computacao/links/5cd08144458515712e973636/Anais-da-Escola-Regional-de-Informatica-de-Mato-Grosso-2017-Sociedade-Brasileira-de-Computacao.pdf#page=72. Acesso em: 12 fev. 2021.
- ARANHA, M.S.F. Paradigmas da relação da sociedade com as pessoas com deficiência. **Revista do Ministério Público do Trabalho**, ano XI, n. 21, p. 160-173, mar. 2001.
- ASEBRIY, Z.; RAGHAY, S.; BENCHAREF, O. An Assistive Technology for Braille Users to Support Mathematical Learning: A Semantic Retrieval System. **Symmetry**, v.10, n.547, p.1–16, 2018. doi:10.3390/sym10110547.

BAO, W. COVID-19 and online teaching in higher education: A case study of Peking University. **Human Behavior and Emerging Technologies**, v.2, n.2, p.113-115. doi: 10.1002/hbe2.191

BASTIEN, C.; SCAPIN, D. **Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human Computer Interfaces**. Le Chesnay: INRIA, 1993.

BATEMAN, A.; ZHAO, O.K.; BAJCSY, A.V.; OLIVEIRA, M. A user-centered design and analysis of an electrostatic haptic touch screen system for students with visual impairments. **International Journal of Human-Computer Studies**, v.109, p.102-111, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.09.004>

BERSCH, R. **Introdução à tecnologia assistiva**. Porto Alegre - RS: [s. n.], 2017. 20 p. Disponível em: https://www.assistiva.com.br/Introducao_Tecnologia_Assistiva.pdf. Acesso em: 24 fev. 2020.

BIER, A.; SROCZYŃSKI, Z. Adaptive Math-To-Speech Interface. **MIDI '15: Proceedings of the Multimedia, Interaction, Design and Innovation**, [S. l.], p. 1-9, jun. 2015. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2814464.2814471>. Acesso em: 21 fev. 2020.

BIER, A.; SROCZYŃSKI, Z. Rule based intelligent system verbalizing mathematical notation. **Multimedia Tools and Applications**, v. 78, n. 19, p. 28089–28110, 2019.

BONILLA, M.H.S. *et al.* Tecnologias digitais e deficiência visual: a contribuição das TIC para a prática pedagógica no contexto da Lei Brasileira de Inclusão. **Revista Pesquisa Qualitativa**, v. 6, n. 12, p. 412, dez. 2018.

BORBA, M.C.; SILVA, R.S.R. da; GADANIDIS, G. **Fases das tecnologias digitais em Educação Matemática: sala de aula e internet em movimento**. Belo Horizonte: Autêntica, 2014.

BRASIL. **e-Mag - Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico - V3.1**. abril 2014. Disponível em: <http://emag.governoeletronico.gov.br/>. Acesso em: 26 abr. 2020.

BRASIL. Lei n. 13.146, de 6 de jul. de 2015. **Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência**. 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm; Acesso em: 24 abr. 2020.

BRASIL. Lei Nº 10.436, de 24 de abril de 2002. Dispõe sobre a Língua Brasileira de Sinais - Libras e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 25/04/2002, Brasília, DF, 25 abr. 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10436.htm, Acesso em: 24 mar. 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **Resolução Nº 1, de 11 de março de 2016**. Estabelece Diretrizes e Normas Nacionais para a Oferta de Programas e Cursos de Educação Superior na Modalidade a Distância. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/marco-2016-pdf/35541-res-cne-ces-001-14032016-pdf/file>. Acesso em: 24 mar. 2020.

BRASIL. Presidência da República. Decreto N° 6.949, de 25 de agosto de 2009 – Promulga a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e seu Protocolo facultativo, assinado em Nova York, em 30 de março de 2007. Organização das Nações Unidas – ONU. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 ago. 2009, p. 3. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6949.htm. Acesso em: 26 abr. 2020.

BRASIL. Presidência da República. Decreto N° 5.296 de 2 de dezembro de 2004 – Regulamenta as Leis nos 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 3 dez. 2004, p. 5. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5296.htm. Acesso em: 26 abr. 2020.

BRASILEIRO, I.C.; MOREIRA, T.M.M.; BUCHALLA, C.M. Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde e seu uso no Brasil. **Acta Fisiatr.**; n. 20, p.37-41, jan-fev. 2013.

BRENNAN, J. **The ADA National Network DISABILITY LAW Handbook**. 2013. Disponível em: https://adata.org/sites/adata.org/files/files/DisabilityLawHandbook_2013-rev-2015.pdf. Acesso em: 25 fev. 2020.

CAKY, P. *et al.* Mathematical formulas in text to speech system. **Communications - Scientific Letters of the University of Zilina**, v. 11, n. 3, p. 49-53, 2009. Disponível em: <http://komunikacie.uniza.sk/index.php/communications/article/view/1007>. Acesso em: 25 fev. 2020.

CALDWELL, B. *et al.* **Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0**. 2008. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/WCAG20/>. Acesso em: 25 fev. 2020

CAPRON, H.L.; JOHNSON, J.A. **Introdução à Informática**. São Paulo: Editora Prentice-Hall, 2004.

CASTAMAN, A.S.; RODRIGUES, R.A. Educação a Distância na crise COVID-19: um relato de experiência. **Research, Society and Development**, v.9, n.6, e180963699-e180963699, 2020. doi: 10.33448/rsd-v9i6.3699

CONCEIÇÃO, G.L. *et al.* Matemática Inclusiva em Ação: um estudo de caso de deficiência visual na Educação Básica. **Benjamin Constant**, v. 2, p. 173–187, 2014.

CORNACHIONE Jr., E.B. **Informática aplicada às áreas de contabilidade, administração e economia**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

CUARTERO-OLIVERA, J. *et al.* Reading and writing mathematical notation in e-learning environments. **eLearn Center Research Paper Series**, n. 4, p. 11–20, 2012.

CUD. THE CENTER of Universal Design. **The universal design file: designing for people of all ages and abilities**. Carolina do Norte: NC State University, 1988.

CYBIS, W.; BETIOL, A.H.; FAUST, R. **Ergonomia e Usabilidade: Conhecimentos, Métodos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Novatec Editora Ltda., 2010.

DI NUBILA, H.B.V.; BUCHALLA, C.M. O papel das Classificações da OMS - CID e CIF nas definições de deficiência e incapacidade. **Rev. bras. epidemiol.**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 324-335, June 2008.

DIAS, A.F.S.; FRANÇA, J.B.S.; BORGES, J.A.S.; SILVEIRA, J.T.C.; CARVALHO, M.F.; BORGES, M.R.S. Matemática, Computação e Braille: Desafios da Pedagogia, da Semiótica e da Síntese da Fala. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 7., 2018. **Anais** [...] Disponível em: <http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/8175>. Acesso em: 12 abr. 2020.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. **Design Science Research**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

EL-GLALY, Y.N. *et al.* Digital Reading Support for The Blind by Multimodal Interaction [...]. **ICMI '14: Proceedings of the 16th international conference on multimodal interaction**, 2014, Istanbul Turkey. New York, NY, United States: Association for Computing Machinery, 2014. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2663204.2663266>. Acesso em: 24 fev. 2020.

FENN, P. International Classification of Impairments, Disabilities and Handicaps (Book). **Sociology of Health & Illness**, v. 4, n. 2, p. 239–239, 1982.

FERRAZ, R. **Acessibilidade na Web**: Boas práticas para construir sites e aplicações acessíveis. São Paulo-SP: Ed. Casa do Código, 2020.

FERREIRA, H. *et al.* AudioMath: Towards Automatic Readings of Mathematical Expressions. **11th International Conference on Human-Computer Interaction**, 2005 Las Vegas, Nevada, USA, 2005. Disponível em: http://www.hci.international/index.php?module=conference&CF_op=view&CF_id=4 Acesso em: 24 fev. 2020.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**.3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FRANKEL, L.; BROWNSTEIN, B. **An Evaluation of the Usefulness of Prosodic and Lexical Cues for Understanding Synthesized Speech of Mathematics**. (Relatório de Pesquisa, Institute of Education Sciences, EUA). 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/ets2.12119>. Acesso em: 24 fev. 2020.

FREIRE, A. P.; PAIVA, D.M.B.; FORTES, R.P. de M. Acessibilidade Digital Durante a Pandemia da COVID-19 - Uma Investigação sobre as Instituições de Ensino Superior Públicas Brasileiras. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, [S.l.], v. 28, p. 956-984, dez. 2020. ISSN 2317-6121. Disponível em: <https://br-ie.org/pub/index.php/rbie/article/view/v28p956>. Acesso em: 21 abr. 2021. doi:<http://dx.doi.org/10.5753/rbie.2020.28.0.956>.

FREIRE, A.P. **NavMatBR - Recurso para leitura e navegação em fórmulas matemáticas por pessoas com deficiência visual no contexto brasileiro**. Projeto de Pesquisa – Universidade Federal de Lavras. Disponível em:

<https://sigaa.ufla.br/sigaa/public/departamento/pesquisa.jsf;jsessionid=30FC5EEFD6C7E83D4E0D5643A3C8B898.srv1inst1>. Acesso em: 03 abr. 2021.

GALVÃO FILHO, T.A. **Tecnologia Assistiva para uma escola inclusiva: apropriação, demandas e perspectivas**. 2009. 346f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal da Bahia, 2009.

GARCIAS, G.L. **De monstros e outros seres humanos: pequena história sobre defeitos congênitos**. Pelotas: Educar, 2002.

GOMES, A.A.S.; MENDES, R.M.; FREIRE, P.F. Um mapeamento das pesquisas acadêmicas em Educação Matemática Inclusiva de Cegos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO ESPECIAL, 8., 2018, São Carlos. **Anais eletrônicos** [...]. Campinas, Galoá, 2018. Disponível em: <https://proceedings.science/cbee/cbee-2018/papers/um-mapeamento-das-pesquisas-academicas-em-educacao-matematica-inclusiva-de-cegos>. Acesso em: 03 abr. 2021.

GONZÁLEZ, E. (Org.). **Necessidades educacionais específicas: intervenção psicoeducacional**. Porto Alegre: Artmed, 2007, p.102

GOOGLE. **Usar o leitor de tela integrado**. 2021. Disponível em: <https://support.google.com/chromebook/answer/7031755?hl=pt-BR>. Acesso em: 24 mar. 2021.

GOVERNO do Estado de São Paulo. **Diretrizes do desenho universal na habitação de interesse social no Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.mp.sp.gov.br/portal/page/portal/Cartilhas/manual-desenhouniversal.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.

GUEDES, H.M.C. **Exploração contextual de fórmulas matemáticas na web para pessoas com deficiência visual em leitor de telas de código aberto**. 2020. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.

GUY, C. *et al.* **Math Speak & Write, a Computer Program to Read and Hear Mathematical Input**. A Programmer's Guide. University of California. Berkeley, 2004. Disponível em: <http://www.cs.queensu.ca/drl/ffes/>. Acesso em: 24 fev. 2020.

HEVNER, A.R.; MARCH, S.T.; PARK, J. Design Science in Information Systems Research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010: Aglomerados subnormais - informações territoriais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. p. 1-251. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/552/cd_2010_agrn_if.pdf. Acesso em: 27 abr. 2020.

ISAAC, M. *et al.* **Improving Automatic Speech Recognition for Mobile Learning of Mathematics Through Incremental Parsing**. [S. l.: s. n.], 2016. v. 21. Disponível em: <http://ebooks.iospress.nl/volumearticle/45177>. Acesso em: 24 fev. 2020.

ISO 9241-210: **Ergonomics of human–system interaction. Human-centred**

design for interactive systems. International Organization for Standardization, 2019. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/77520.html>. Acesso em: 25 mar. 2020.

JOHNSON, L. *et al.* **NMC Horizon Report: 2014 Higher Education Edition.** Austin, Texas, Estados Unidos: The New Media Consortium. 2014. Disponível em: <http://flacso.org.br/files/2015/09/Panorama-Tecnologias-na-ES-2014.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2020.

JOHNSON, L. *et al.* **NMC Horizon Report: 2015 Higher Education Edition.** Austin, Texas, Estados Unidos: The New Media Consortium. 2015. Disponível em: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED559357.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2020.

JORDAN, P.W. **An introduction to usability.** London: Taylor and Francis, 1998.

KHAN, M.E. Different Approaches to Black Box Testing Technique for Finding Errors., **International Journal of Software Engineering and Applications**, v. 2, n. 4, p.31-40, oct. 2011.

KRANZ, C.R. **O Desenho Universal Pedagógico na Educação Matemática Inclusiva.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.

LEE, A.S.; HUBONA, G.S. A Scientific Basis for Rigor in Information Systems Research. **MIS Quaterly**, v. 33, n. 2, p. 237-262, 2009.

LIMA, E.C. **O aluno com deficiência visual.** São Paulo: Ed. Fundação Dorina, 2018.

LIRA, M.C.F. de; SCHLINDWEIN, L.M. A pessoa cega e a inclusão: um olhar a partir da psicologia histórico-cultural. **Cad. CEDES**, Campinas, v. 28, n. 75, p. 171-190, ago. 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-32622008000200003&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 21 mar. 2020. <https://doi.org/10.1590/S0101-32622008000200003>.

MACE, R.; HARDIE, G.; PLACE, J. Accessible environments toward Universal Design. *In*: PREISER, W.; VISCHER, J. C.; WHITE, E. T. (Eds.). **Design interventions: toward a more humane architecture.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

MAĆKOWSKI, M. *et al.* Assessing the Influence of the Teaching Method on Cognitive Aspects in the Process of Mathematical Education Among Blind People. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, [s. l.], v. 1033, 2020. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-29885-2_19. Acesso em: 24 fev. 2020.

MAĆKOWSKI, M.S. *et al.* Tutoring math platform accessible for visually impaired people. **Computers in Biology and Medicine**, [s. l.], v. 95, p. 298-306, 1 abr. 2018.

MARQUES, C.M.; SGANZERLA, M.A.R.; GELLER, M. Contátil: uma tecnologia assistiva ao ensino de fundamentos matemáticos. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**. v.16, n.1, p. 1-9, 2018. Doi:

<https://doi.org/10.22456/1679-1916.86035>. Acesso em: 24 fev. 2020.

MATHJAX. **{MathJax: Beautiful} Math in all Browsers**, 2011. Disponível em: <https://www.mathjax.org/>. Acesso em: 27 abr. 2020.

MATHPLAYER. Disponível em: <https://www.dessci.com/en/products/mathplayer/>. Acesso em: 24 fev. 2020.

MATHTALK. **MathTalk Speech Recognition Math Software**. Disponível em: <https://mathtalk.com/>. Acesso em: 24 fev. 2020.

MCKENNEY, S.E.; REEVES, T. **Conducting Educational Design Research**. New York: Routledge, 2012.

MICHAELIS. **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 2020. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/>. Acesso em: 24 fev. 2020.

NASCIMENTO, A. **Estudo de caso de facilitadores para o uso da tecnologia de informação assistiva para pessoas com deficiência visual**. 2012. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) - Fundação Getúlio Vargas, Escola de Administração de Empresas de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/9420/alexandro.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Acesso em: 15 fev. 2020.

NAZEMI, A. *et al.* Mathematical Formula Recognition and Transformation to a Linear Format Suitable for Vocalization. **International Journal on Computer Science and Engineering**, [s. l.], v. 5, n. 9, p. 847-855, 2013.

NAZEMI, A. *et al.* Mathspeak: An audio method for presenting mathematical formulae to blind students. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN SYSTEM INTERACTION, HIS, 5., 2012, Perth, WA, Australia. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6473762>. Acesso em: 24 fev. 2020.

NERY, É.S.S.; SÁ, A.V.M. de. Pesquisas em Educação Matemática Inclusiva: possibilidades e desafios da utilização de tecnologias digitais e assistivas. **Revista Baiana de Educação Matemática**, v. 1, p. e202006, 27 ago. 2020.

NIELSEN, J. **Usability 101: Introduction to Usability**. Fremont: Nielsen Norman Group, 2012. Disponível em: www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability. Acesso em: 10 dez. 2020.

NIELSEN, J. **Usability Engineering**. Boston, MA: Academic Press, 1993.

NNELS. National Network for Equitable Library Service (). **Accessibility Testing of PressReader**, Vancouver BC, jul. 2019. Disponível em: https://www.accessiblepublishing.ca/wp-content/uploads/2019/07/Press_reader-Accessibility-report-July-2019.pdf. Acesso em: 20 mar. 2020.

OLIVEIRA, A.A.F. de.; CRUZ, D.T. da.; EZEQUIEL, J.P. **Interface Homem-Computador para Desenvolvimento de Software Educativo**. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO, 4., 2004. Disponível em:

http://www.niee.ufrgs.br/eventos/CBCOMP/2004/pdf/Informatica_Educacao/t170100134_3.pdf. Acesso em: 10 dez. 2020.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **Relatório Mundial sobre a Deficiência (World Report on Disability)**. The World Bank. Tradução: Secretaria dos Direitos da Pessoa com Deficiência do Governo do Estado de São Paulo, 2011. Disponível em: http://www.pessoacomdeficiencia.sp.gov.br/usr/share/documents/RELATORIO_MUNDIAL_COMPLETO.pdf. Acesso em: 15 set. 2012.

ONU. **Declaração dos direitos das pessoas deficientes**. 1975. Disponível em: <http://styx.nied.unicamp.br/todosnos/documentosinternacionais/declaracao-dos-direitos-das-pessoas-deficientesonu-1975/view>. Acesso em: 26 abr. 2020.

OTTAIANO, J.A.A. *et al.* **As Condições de Saúde Ocular no Brasil 2019**. 1. ed. São Paulo: Conselho Brasileiro de Oftalmologia, 2019. 104 p. Disponível em: http://www.cbo.com.br/novo/publicacoes/condicoes_saude_ocular_brasil2019.pdf. Acesso em: 21 fev. 2020.

PFLEEGER, S. **Engenharia de Software: Teoria e Prática**. 2.ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

PIMENTA FREIRE, A.; *et al.* ALCANCE: Núcleo de Pesquisas em Acessibilidade, Usabilidade e Linguística Computacional. *In: FÓRUM DOS GRUPOS DE PESQUISA EM IHC - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FATORES HUMANOS EM SISTEMAS COMPUTACIONAIS (IHC)*, 18., 2019, Vitória. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. p. 215-217. ISSN 2177-9384. DOI: <https://doi.org/10.5753/ihc.2019.8442>.

PIVETTA, E.M.; SAITO, D.S.; ULBRICHT, V.R. Surdos e acessibilidade: Análise de um ambiente virtual de ensino e aprendizagem. **Revista Brasileira de Educação Especial**, v. 20, n. 1, p. 147-161, 2014.

PLOMP, T. Educational Design Research: An Introduction. *In: PLOMP, T.; NIEVEEN, N. (ed.). Educational Design Research Part A: An introduction*, Netherlands Institute for Curriculum Development (SLO), 2013. p. 10-51.

PRESSMAN, R.S.; MAXIM, B.R. **Engenharia de software: uma abordagem profissional**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 940 p.

PUREWAL, S. **Aprendendo a desenvolver aplicações web**. São Paulo: Novatec, 2017.

QUEIROZ, A. Tecnologias assistivas na educação a distância. **Em Rede Revista de Educação a Distância**, v. 6, n. 2, 2019.

RADABAUGH, M.P. **Study on the Financing of Assistive Technology Devices and Services for Individuals with Disabilities**. 1993. Disponível em: <https://ncd.gov/publications/1993/Mar41993>. Acesso em: 26 abr. 2020.

REGEC, V. Mathematics in inclusive education of blind students in secondary school in the Czech Republic. **Procedi: Social and Behavioral Sciences**, n. 174, p. 3933–3939, 2015. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.01.1136.

RESENDE, A.P.C.; VITAL, F.M. de P. *et al.* (Coord.). **A Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência Comentada**. Brasília: Secretaria Especial dos Direitos Humanos. Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/governodigital/pt-br/acessibilidade-digital/convencao-direitos-pessoas-deficiencia-comentada.pdf/view>. Acesso em: 26 abr. 2020.

RESULTADOS da Pesquisa brasileira sobre o uso de leitores de tela 2.0. 5 mar. 2020. Disponível em: https://estudoinclusivo.com.br/pesquisa-ldt/resultados2?fbclid=IwAR28liWAIThAJ0VdfLtAW_B4rYn8nm-n6eok9PLSVuNtmmLaiGw6wUiiIwl. Acesso em: 8 abr. 2020.

ROMA, A.C. Breve histórico do processo cultural e educativo dos deficientes visuais no Brasil. **Revista Ciência Contemporânea**, v. 4, n. 1, p. 1–15, jun./dez. 2018. Disponível em: https://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20190426090505.pdf. Acesso em: 05 abr. 2021.

SANTANA, C.L.S.; BORGES SALES, K.M. Aula em casa: educação, tecnologias digitais e pandemia Covid-19. **Revista Interfaces Cinéticas - Educação**, v. 10, n. 1, p. 75–92, 2020. DOI: 10.17564/2316-3828.2020v10n1p75-92. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/educacao/article/view/9181>. Acesso em: 05 abr. 2021.

SANTOS, F.A.; SANTOS, C.H. Narrador do Microsoft Windows: Análise da Acessibilidade Microsoft Windows Narrator. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga-SP, v. 5, n.1, p. 154-170, jan./mar. 2018.

SHNEIDERMAN, B. **Designing the User Interface**: Strategies for effective human-computer interaction. Boston, MA: Addison-Wesley, 1998.

SILVA, E.H.B.D.; NETO, J.G.D.S.; SANTOS, M.C.D. Pedagogia da pandemia. **Revista Latino-Americana de Estudos Científicos**, v. 1, n. 4, p. 29-44, ago. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/ipa/article/view/31695>. Acesso em: 10 mar. 2021.

SILVA, R.; GIL, M. **Recomendações para a acessibilidade arquitetônica da escola**. Cap.7. out. 2018. Disponível em: <http://www.guiadoeducadorinclusivo.org.br/capitulos/capitulo-7>. Acesso em: 05 abr. 2021.

SOARES BARBOSA, F.C. *et al.* Propostas de ensino de matemática para deficientes visuais: revisão sistemática exploratória da literatura. **HOLOS**, [S.l.], v. 8, p. 1-37, dez. 2020. ISSN 1807-1600. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/9483>. Acesso em: 03 abr. 2021. doi:<https://doi.org/10.15628/holos.2020.9483>.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. Boston, MA: Addison Wesley, 2003.

SOUTO, D.L.P.; BORBA, M. de C. Seres humanos - com - internet ou internet - com - seres humanos: uma troca de papéis? **Relime** [online], v.19, n.2, p.217-242, 2016. ISSN 2007-6819. <https://doi.org/10.12802/relime.13.1924>.

SOUZA, C.J. de; VIEIRA, A.A. A utilização das tecnologias assistivas para alunos

surdos em tempos de pandemia: um estudo introdutório. **Itinerarius Reflectionis**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 01–25, 2020. DOI: 10.5216/rir.v16i1.65382. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/rir/article/view/65382>. Acesso em: 05 abr. 2021.

SPINCZYK, D. *et al.* Factors influencing the process of learning mathematics among visually impaired and blind people. **Computers in Biology and Medicine**, v. 104, p. 1–9, 2019.

SROCZYŃSKI, Z. Priority Levels and Heuristic Rules in the Structural Recognition of Mathematical Formulae. **Theoretical and Applied Informatics**, v. 22, n. 4, p. 273–289, 2011.

SU, W. *et al.* The accessibility of mathematical formulas for the visually impaired in China. **Lecture Notes in Computer Science**, v. 11110, p. 237-242, 2018.

SZESZ JUNIOR, A.; MENDES, L.R.; SILVA, S. de C.R. da. Matemática fácil: sistema online para produção de equações matemáticas acessíveis. *In*: OLIVEIRA, Jáima Pinheiro *et al.* (Org.). **Tecnologias educacionais como suportes para a inclusão escolar**. 1.ed. v. 1. São Carlos: De Castro, 2020. p. 11-26.

SZESZ JUNIOR, A.; MENDES, L.R.; SILVA, S. de C.R. da. Math2Text: Software para geração e conversão de equações matemáticas em texto - limitações e possibilidades de inclusão. **RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação**, n.37, p.99-115, 2020. <https://dx.doi.org/10.17013/risti.37.99-115>. Acesso em: 30 ago. 2020.

TEDESCO, M.A. Inclusão e exclusão de pessoas com deficiência nas igrejas: um olhar a partir da Educação Cristã. **REPAS**, v.2, n.2, 2020. Disponível em: <https://repas.com.br/revista/index.php/repas/article/view/9>. Acesso em: 05 abr. 2021

TEIXEIRA, A.F. *et al.* O uso de leitores de tela no ensino superior por alunos com deficiência visual. **Projeção e Docência**, v. 9, n. 2, p. 241–256, 2018.

THOMAS, H.; HATCHUEL, A. A foundationalist perspective for management research: A european trend and experience. **Management Decision**, v.47, n.9, p.1458–1475, 2009.

TREMBLAY, M.C.; HERVNER, A.R.; BERNDT, D.J. Focus Groups for Artifact Refinement and Evaluation in Design Research. **Communications of the Association for Information Systems**, v. 26, n. 27, p. 599-618, 2010.

UNESCO. **Convenção Interamericana para a Eliminação de Todas as Formas de Discriminação contra a “Pessoa Portadora de Deficiência”**. 1999. Disponível em: <http://www.oas.org/juridico/portuguese/treaties/A-65.htm>. Acesso em: 26 abr. 2020.

VIGOTSKI, L.S. **A formação social da mente**. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

VIGOTSKI, L.S. **Psicologia da arte**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

VIGOTSKI, L.S. **Fundamentos de defectología**: Obras Escogidas V. Madrid: Visor, 1997.

VIGOTSKI, L.S. **Obras completas**. Espanha: Editorial Pueblo y Educación, 1989.

VIGOTSKI, L.S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1993.

W3C – Mathematical Markup Language (MathML) version 3.0 (second edition). 2014. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/MathML3/>. Acesso em: 25 mar. 2020.

W3C BRASIL. **Cartilha de Acessibilidade na Web**: W3C Brasil. 2013. Disponível em: <https://www.w3c.br/pub/Materiais/PublicacoesW3C/cartilha-w3cbr-acessibilidade-web-fasciculo-1.html>. Acesso em: 25 mar. 2020.

W3C. Web Accessibility Initiative (WAI). **Strategies, standards, resources to make the Web accessible to people with disabilities**. 2016. Disponível em: <https://www.w3.org/WAI/>. Acesso em: 26 abr. 2020.

WEBAIM. Web Accessibility in Mind. **Screen Reader User Surveywebaim.org**. 2019. Disponível em: <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey8/#landmarks>. Acesso em: 12 mar. 2020

WIAZOWSKI, J. Sight, touch, hearing: The current digital options and challenges in access to math content for learners with visual impairments. **Forum Pedagogiczne**, v. 8, Issue 2, p. 227–240. doi: 10.21697/fp.2018.2.16. Acesso em: 25 mar. 2020.

WIGMORE, A. *et al.* TalkMaths: a speech user interface for dictating mathematical expressions into electronic documents. *In: SLaTE-2009*. Speech and Language Technology in Education, p.125-128, 2009. Disponível em: https://www.isca-speech.org/archive/slate_2009/papers/sla9_125.pdf. Acesso em: 25 mar. 2020.

WONGKIA, W.; NARUEDOMKUL, K.; CERCONE, N. I-Math: Automatic math reader for Thai blind and visually impaired students. **Computers and Mathematics with Applications**, v. 64, n. 6, p. 2128–2140, 2012.

ZOOMTEXT. Site official. 2021. Disponível em: <https://www.zoomtext.com/>. Acesso em: 25 mar. 2020.