

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

EVANDRO PREUSS

**NIDABA: PLATAFORMA DIGITAL PARA PRODUÇÃO DE RECURSOS  
EDUCACIONAIS INCLUSIVOS BASEADOS EM MESA TANGÍVEL**

PORTO ALEGRE

2021

Evandro Preuss

**NIDABA: PLATAFORMA DIGITAL PARA PRODUÇÃO DE RECURSOS  
EDUCACIONAIS INCLUSIVOS BASEADOS EM MESA TANGÍVEL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutor em Informática na Educação.

Orientador:

Dr. Renato Ventura Bayan Henriques

Coorientadora:

Dra. Sandra Baldassarri

Porto Alegre

2021

### CIP - Catalogação na Publicação

Preuss, Evandro  
NIDABA: Plataforma Digital Para Produção de  
Recursos Educacionais Inclusivos Baseados em Mesa  
Tangível / Evandro Preuss. -- 2021.  
236 f.  
Orientador: Renato Ventura Bayan Henriques.

Coorientadora: Sandra Baldassarri.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Centro de Estudos Interdisciplinares em  
Novas Tecnologias na Educação, Programa de  
Pós-Graduação em Informática na Educação, Porto  
Alegre, BR-RS, 2021.

1. Mesa tangível. 2. Educação inclusiva. 3.  
Tecnologia assistiva. 4. Ferramenta de autoria. I.  
Henriques, Renato Ventura Bayan, orient. II.  
Baldassarri, Sandra, coorient. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

**ATA SOBRE A DEFESA DE TESE DE DOUTORADO  
EVANDRO PREUSS**

Às quatorze horas do dia treze de agosto de dois mil e vinte e um, no endereço eletrônico <https://mconf.ufrgs.br/webconf/00010341>, conforme a portaria 2291 de 17/03/2020 que suspende todas as atividades presenciais possíveis, nesta Universidade, reuniu-se a Comissão de Avaliação, composta pelos Professores Doutores: Leandro Krug Wives, Alexandra Lorandi, Rodrigo da Silva Guerra para a análise da Defesa de Tese de Doutorado intitulada “**NIBADA: Plataforma Digital para Produção de Recursos Educacionais Inclusivos Baseados em Mesa Tangível**” do doutorando de Pós – Graduação em Informática na Educação Evandro Preuss sob a orientação do Prof. Dr. Renato Ventura Bayan Henriques e coorientação da Prof.ª Dr.ª Sandra Silvia Baldassarri.


A Banca, reunida, após a apresentação e arguição, emite o parecer abaixo assinalado.

Considera a Tese Aprovada  
     sem alterações;  
     sem alterações, com voto de louvor;  
     e recomenda que sejam efetuadas as reformulações e atendidas as sugestões contidas nos pareceres individuais dos membros da Banca;

Considera a Tese Reprovada.

Considerações adicionais (a critério da Banca):

A banca destaca o mérito, a contribuição e a qualidade do trabalho. Sugere que o candidato leve em consideração as sugestões contidas nos pareceres individuais dos avaliadores na elaboração do volume final a ser entregue para a homologação.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Renato Ventura Bayan Henriques  
Orientador

\_\_\_\_\_  
Prof.ª Dr.ª Sandra Silvia Baldassarri  
Coorientadora

\_\_\_\_\_  
(videoconferência)  
Prof. Dr. Leandro Krug Wives  
PPGIE/ UFRGS

\_\_\_\_\_  
(videoconferência)  
Prof.ª Dr.ª Alexandra Lorandi  
FACED/UFRGS

\_\_\_\_\_  
(videoconferência)  
Prof. Dr. Rodrigo da Silva Guerra  
UFSM



À minha eterna orientadora Liliana Passerino (*in memoriam*),  
que sempre buscou formas de apoio  
ao desenvolvimento das pessoas com deficiência  
a partir do uso criativo e inovador da tecnologia.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para que meus objetivos fossem alcançados.

À minha orientadora Liliana (*in memoriam*), pelos conhecimentos compartilhados, pela amizade e confiança, por acreditar no meu potencial e por permitir transformar sonhos e projetos num instrumento de mediação que pode ser utilizado na educação inclusiva.

Ao meu orientador Renato, pela dedicação, amizade, parceria e por ter aceito o desafio de dar continuidade na orientação iniciada pela Liliana e viabilizar a conclusão desta tese.

À minha coorientadora Sandra, pelas valiosas contribuições e ideias para o desenvolvimento e uso do editor e para as publicações.

Aos professores Rodrigo da Silva Guerra, Alexandra Lorandi e Leandro Krug Wives por aceitarem participar das bancas de qualificação e de defesa da tese e pelas valiosíssimas contribuições para a pesquisa e para o aprimoramento desta tese.

Aos meus colegas de doutorado e colegas de pesquisa: Kátia, Mely, Bárbara, Paulo, Marcus, Roceli e Martha, pelo apoio, companheirismo e pela troca de experiências e auxílio na pesquisa e desenvolvimento deste trabalho. Ao Marlus, pela amizade e pelo apoio na pesquisa, na construção das mesas e nas atividades com o uso do editor. Aos bolsistas que auxiliaram no desenvolvimento do editor e das aplicações. A todos os amigos e colegas pelo apoio, troca de ideias, cafés e risadas.

Às professoras e alunos das disciplinas de educação inclusiva da UFRGS por oportunizar a utilização e aprimoramento do Eduba Editor nas aulas e pelas valiosas contribuições. Aos professores participantes da pesquisa, das escolas de Canoas e Porto Alegre.

À minha esposa Lisandra e ao meu filho Mártin, pelo apoio e compreensão. À minha filha Andrise, pela companhia no apartamento em Porto Alegre e pelo auxílio nos textos das publicações.

À UFRGS, ao CINTED e à equipe do PPGIE, por fornecerem toda as condições, estrutura e apoio necessários para uma formação de qualidade e excelência.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio com financiamento dos projetos e concessão das bolsas de pesquisa e de doutorado.

## RESUMO

A utilização de ferramentas tecnológicas na educação é bastante disseminada no Brasil e no mundo, porém, quando envolve educação inclusiva, especialmente com crianças com deficiência intelectual ou autismo, existem poucas soluções e recursos tecnológicos disponíveis. O uso de interfaces tangíveis para fins educacionais apresenta consideráveis vantagens e pode proporcionar um incremento no engajamento e motivação dos estudantes e se revelando um recurso de tecnologia assistiva adequado para a educação. Um dos principais problemas encontrados para a utilização de mesas tangíveis no ambiente educacional é a ausência de softwares para a sua programação e uso que atendam às necessidades educacionais e que sejam fáceis de utilizar, especialmente por educadores que não dominam a lógica de programação. A presente tese tem por objetivo criar uma plataforma digital para produção de recursos educacionais baseados em mesa tangível, que atendam à diversidade para a educação inclusiva. Para isso, um levantamento de necessidades pedagógicas e as questões de acessibilidade para a interação tangível no contexto inclusivo são analisadas e é desenvolvido um editor intuitivo e de fácil utilização para criação de recursos educacionais, juntamente com um *player* para executar as aplicações em mesas tangíveis e que permite a simulação em computadores, tablets e smartphones. Uma avaliação da usabilidade do editor e do player com as aplicações para mesa tangível e a viabilidade e utilidade da proposta é realizada e é apresentada uma especificação para a construção e montagem de uma mesa de baixo custo. Assim, este estudo apresenta uma proposta de uso da mesa tangível na educação inclusiva, juntamente com uma ferramenta de autoria para a construção de aplicativos e a plataforma necessária para sua execução, desenvolvidos especificamente para este propósito. Esta plataforma pode ser utilizada como um instrumento de mediação tecnológica, de forma interativa e intuitiva por educadores e estudantes, para o desenvolvimento e utilização de atividades pedagógicas num contexto inclusivo. A plataforma desenvolvida e o editor reúnem, numa única ferramenta, diversas características importantes apresentadas em trabalhos relacionados e apresenta, ainda, vários recursos inovadores para a produção de aplicações para mesa tangível.

**Palavras-chave:** Mesa tangível. Educação inclusiva. Tecnologia assistiva. Ferramenta de autoria.

## ABSTRACT

Use of technological tools in education is widespread in Brazil and in the world, however when it involves inclusive education, especially with children with intellectual disabilities or autism, there are few technological solutions and resources available. Tangible interfaces use for educational purposes has considerable advantages and can provide an increase in student engagement and motivation, and have proved to be suitable for assistive technology resources for education. One of the main problems found for the use of tangible tabletops in the educational environment is the absence of software for their programming and use that meet educational needs and that are easy to use, especially by teachers who do not master the programming logic. This thesis aims to create a digital platform for the production of educational resources based on a tangible tabletop, to contemplate diversity for inclusive education. For this, a survey of pedagogical needs and accessibility issues for tangible interaction in the inclusive context are analyzed and an intuitive and user-friendly editor is developed for creating educational resources, along with a player to run the applications on tangible tabletop and that allows simulation on computers, tablets and smartphones. An evaluation of the editor and player usability with the tangible tabletop applications and the feasibility and usefulness of the proposal is carried out and is presented a specification for the construction and assembly of a low-cost table. Thus, this study presents a proposal for using the tangible table in inclusive education, together with an authoring tool for building applications and the platform needed for its execution, developed specifically for this purpose. This platform can be used as an instrument of technological mediation, in an interactive and intuitive way by teachers and students, for the development and use of pedagogical activities in an inclusive context. The developed platform and the editor bring together in a single tool, several important features presented in related works and also presents several innovative resources for the production of applications to a tangible tabletop.

**Keywords:** Tangible tabletop. Inclusive education. Assistive technology. Authoring tool.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mesa Tangível.....	50
Figura 2 – Iluminação IR: FTIR e DI .....	59
Figura 3 – DSI - Diffused Surface Illumination .....	60
Figura 4 – Funcionamento do reactIVision.....	62
Figura 5 – Marcadores fiduciais do reactIVision .....	62
Figura 6 – Fiducial BullsEye.....	63
Figura 7 – Interface do CCV .....	64
Figura 8 – Marcadores únicos são distribuídos nos objetos tangíveis .....	66
Figura 9 – Estrutura dos componentes da API do ROSS.....	67
Figura 10 – Microsoft Surface .....	68
Figura 11 – Mesa Samsung SUR40.....	69
Figura 12 – MultiTaction .....	70
Figura 13 – Sistema metaDESK.....	73
Figura 14 – Arquitetura de hardware do metaDESK.....	74
Figura 15 – ReacTable em ação.....	75
Figura 16 – Componentes do ReacTable .....	76
Figura 17 – Produto comercial da ReacTable Systems.....	76
Figura 18 – Jogo no NIKVision com imagem projetada na mesa (à direita).....	78
Figura 19 – Arquitetura do KitVision .....	81
Figura 20 – Interface do assistente gráficos do KitVision .....	82
Figura 21 – Atividades criadas com o KitVision.....	83
Figura 22 – Arquitetura do ToyVision.....	84
Figura 23 – Processo de criação de um aplicativo com ToyVision.....	85
Figura 24 – Arquitetura do TIES .....	86
Figura 25 – Exemplo de aplicação no TIES.....	87
Figura 26 – Configuração de projetor e câmera e ambiente de autoria do ISAR.....	88
Figura 27 – Estrutura da mesa .....	89
Quadro 1 – Principais experimentos com mesa tangível .....	91
Quadro 2 – Principais frameworks para mesa tangível.....	93
Quadro 3 – Pesquisas de uso de mesa tangível para educação e atividades colaborativas .....	95
Quadro 4 – Principais experimentos de uso de mesa tangível com pessoas com deficiência..	97
Tabela 1 – Resultados das buscas nas bases de pesquisa.....	102
Figura 28 – Ciclo de vida da FDD.....	104
Figura 29 – Plataforma Nidaba.....	112
Figura 30 – Arquitetura do Nidaba para execução local.....	113
Figura 31 – Arquitetura do Nidaba online .....	113
Figura 32 – Especificação para montagem de uma mesa tangível de baixo custo .....	115
Figura 33 – Estrutura de classes da aplicação no Eduba Editor .....	118
Figura 34 – Interface do Eduba Editor.....	121
Figura 35 – Propriedades dos elementos de cena .....	122
Figura 36 – Lista de marcadores fiduciais e sua a impressão .....	123

Figura 37 – Lista de requisitos e propriedades da área de interação com requisitos .....	124
Figura 38 – Emulador para testar a aplicação no Eduba Editor .....	124
Figura 39 – Propriedades da avaliação na configuração de cada cena .....	125
Figura 40 – Emulador .....	126
Figura 41 – Link e QR Code para acessar a aplicação no emulador online.....	127
Figura 42 – Interface do editor de animações do Asistranto .....	131
Figura 43 – Interface para configuração das etiquetas RFID .....	131
Figura 44 – Integração da mesa tangível e realidade virtual.....	133
Figura 45 – Testes da integração da mesa tangível com ambiente de realidade virtual .....	134
Figura 46 – Mesas tangíveis desenvolvidas e instaladas nas escolas .....	138
Figura 47 – Detalhamento das respostas do SUS – KitVision .....	140
Figura 48 – Escore de Usabilidade – SUS .....	145
Figura 49 – Detalhamento das respostas do SUS – Eduba 2018-2.....	146
Figura 50 – Detalhamento das respostas do SUS – Eduba 2019-1.....	147
Figura 51 – Detalhamento das respostas do SUS – Eduba 2019-2.....	148
Figura 52 – Detalhamento das respostas do SUS – Eduba 2020-1.....	149
Figura 53 – Detalhamento das respostas do SUS – Eduba 2020-2.....	150
Figura 54 – Percentual de respostas positivas das questões Q11 e Q12 .....	151
Quadro 5 – Análise da avaliação de usabilidade SUS - 2020 .....	152
Figura 55 – Avaliação da atividade de criação de aplicações - KitVision 2018-1 .....	154
Figura 56 – Avaliação da atividade de criação de aplicações - Eduba 2018-2 a 2020-2.....	156
Figura 57 – Avaliação da motivação intrínseca na criação de aplicações - Eduba .....	157
Figura 58 – Aplicações desenvolvidas com o Eduba Editor em 2018-2 .....	159
Figura 59 – Cenas da aplicação Caixossauro .....	160
Figura 60 – Cenas da aplicação Atividade Stick .....	160
Figura 61 – Cenas da aplicação Fazendinha .....	161
Figura 62 – Cenas da aplicação Choquito.....	161
Figura 63 – Atividades implementadas com o Eduba Editor em 2019.....	162
Figura 64 – Cenas da aplicação A Floresta de Joãoio .....	162
Figura 65 – Cenas da aplicação Brincadeiras de Alice .....	163
Figura 66 – Cenas da aplicação Colorirei .....	163
Figura 67 – Cenas da aplicação Libras em Construção .....	164
Figura 68 – Cenas da aplicação Ecobrinca.....	164
Figura 69 – Cenas da aplicação Centopeia.....	165
Figura 70 – Cenas da aplicação Lobo Mau .....	165
Figura 71 – Cenas da aplicação Manhã de Amora .....	166
Figura 72 – Cenas da aplicação Busca ao Tesouro.....	166
Figura 73 – Cenas da aplicação Tarsila.....	167
Figura 74 – Cenas da aplicação Vidrarias.....	168
Figura 75 – Cenas da aplicação Frutas.....	168
Figura 76 – Cenas da aplicação Expedição Paleontológica .....	169
Figura 77 – Cenas da aplicação Formas Geométricas .....	169
Figura 78 – Cenas da aplicação Meu Aniversário .....	170
Figura 79 – Cenas da aplicação Abelha Arteira .....	170

Figura 80 – Cenas da aplicação Árvores Nativas .....	171
Figura 81 – Cenas da aplicação Passeio Ecológico .....	171
Figura 82 – Cenas da aplicação Praticar Esportes .....	171
Figura 83 – Cenas da aplicação As Vogais .....	172
Figura 84 – Cenas da aplicação Elementos Químicos .....	172
Figura 85 – Cenas da aplicação Conhecendo os Animais Amazônicos .....	173
Figura 86 – Cenas da aplicação Jogo de Frações .....	173
Figura 87 – Cenas da aplicação Mundo Microscópico .....	174
Figura 88 – Cenas da aplicação Aves do Brasil .....	174
Figura 89 – Cenas da aplicação Solos Brasileiros .....	175
Figura 90 – Cenas da aplicação Coronavírus .....	176
Figura 91 – Cenas da aplicação Notas Musicais .....	176
Figura 92 – Cenas da aplicação Sistema Solar .....	177
Figura 93 – Cenas da aplicação Animais da África.....	177
Figura 94 – Cenas da aplicação Ambientes Cidade e Natureza .....	178
Figura 95 – Cenas da aplicação Orixás do Batuque .....	178
Figura 96 – Uso do Eduba Editor com a mesa tangível na sala de AEE .....	180
Quadro 6 – Funcionalidades do Eduba Editor e a relação com outros trabalhos .....	190
Figura 97 – Exemplo de interação na mesa tangível .....	194
Figura 98 – Exemplo de interação na mesa tangível .....	194
Figura 99 – Exemplo de interação na mesa tangível .....	195
Figura 100 – Exemplo de imagens para feedback visual .....	195
Figura 101 – Exemplos de aplicação para mesa tangível .....	196
Figura 102 – Exemplo de sobreposição de áreas de interação .....	197
Figura 103 – Exemplos de agrupamento de áreas de interação.....	197
Figura 104 – Exemplos do uso do recurso de mover área de interação com o fiducial.....	198
Figura 105 – Exemplos de atividade com dado.....	199
Figura 106 – Exemplos de aplicações com a funcionalidade de requisitos .....	199
Figura 107 – Exemplos de uso da técnica de exibir outra cena.....	200
Figura 108 – Objetos reais e seus respectivos marcadores fiduciais .....	202
Figura 109 – Configuração do fundo da cena .....	203
Figura 110 – Configuração do áudio da cena.....	203
Figura 111 – Configuração do elemento de texto.....	204
Figura 112 – Configuração do elemento de imagem.....	204
Figura 113 – Configuração da área de interação .....	205
Figura 114 – Configuração do feedback da cena.....	205
Figura 115 – Inserção de uma nova cena na aplicação .....	206
Figura 116 – Exemplos de animação de imagem .....	206
Figura 117 – Diferentes feedbacks para erroS numa área de interação .....	207

## LISTA DE SIGLAS

AEE	Atendimento Educacinoal Especializado
ANSI	American National Standards Institute
API	Application Programming Interface
CAA	Comunicação Alternativa e Aumentativa
CCV	Community Core Vision
CID	Codigo Internacional de Doencas
CPU	Central Processing Unit
CSS	Cascading Style Sheets
DDR3	Double Data Rate type 3
DDR4	Double Data Rate type 4
DI	Diffused Illumination
DSI	Diffused Surface Illumination
DV	Digital Video
EEG	Eletroencefalograma
FDD	Feature Driven Development
FPS	<i>Frames</i> por segundo
FTIR	Frustrated Total Internal Refection
GIF	Graphics Interchange Format
GPU	Graphics Processing Unit
GUI	Graphical User Interface
HD	High Definition
HRI	Human-Robot Interaction
HTML	HyperText Markup Language
IDE	Integrated Development Environment
IMI	Intrinsic Motivation Inventory
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
IR	Infrared
JSON	JavaScript Object Notation
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
MDF	Medium Density Fiberboard
MEC	Ministério da Educação
MIDI	Musical Instrument Digital Interface



MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NEE	Necessidades Educacionais Especiais
NUI	Natural User Interface
OMS	Organização Mundial da Saúde
OSC	Open Sound Control
PASS	Planejamento-Atenção-Simultâneo-Sucessivo
PECS	Picture Exchange Communication System
PHP	PHP: Hypertext Preprocessor - originalmente Personal Home Page
PIC	Peripheral Interface Controller
PNE	Plano Nacional de Educação
PPGEDU	Programa de Pós-Graduação em Educação
PPGIE	Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação
PVC	Polyvinyl Chloride
RAM	Random Access Memory
RFID	Radio-Frequency IDentification
ROSS	Responsive Objects, Surfaces and Spaces
RV	Realidade Virtual
SDK	Software Development Kit
SUS	System Usability Scale
TDAH	Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade
TEA	Transtornos do Espectro Autista
TGD	Transtorno Global do Desenvolvimento
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TIES	Tangible Interaction in Educational Scenario
TUI	Tangible User Interface
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
URL	Uniform Resource Locator
USB	Universal Serial Bus
XML	eXtensible Markup Language
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	15
1.2	TEMA.....	17
1.3	PROBLEMA.....	19
1.4	OBJETIVOS .....	19
1.5	ESTRUTURA DO TEXTO.....	20
<b>2</b>	<b>EDUCAÇÃO ESPECIAL INCLUSIVA</b> .....	<b>22</b>
2.1	QUESTÕES LEGAIS .....	22
2.2	QUESTÕES EDUCACIONAIS .....	26
2.2.1	Atendimento educacional especializado.....	28
2.2.2	Necessidades educacionais especiais .....	29
2.3	QUESTÕES DE DESIGN.....	36
2.4	VYGOTSKY E A EDUCAÇÃO INCLUSIVA .....	39
2.5	MEDIAÇÃO TECNOLÓGICA.....	45
<b>3</b>	<b>MESA TANGÍVEL</b> .....	<b>50</b>
3.1	TECNOLOGIAS PARA CONSTRUÇÃO DE MESAS TANGÍVEIS .....	55
3.1.1	Iluminação Infravermelha.....	58
3.1.2	Sistemas de rastreamento de objetos .....	60
3.2	TECNOLOGIAS PARA APLICAÇÕES PARA MESA TANGÍVEL.....	66
3.2.1	ROSS .....	66
3.2.2	Microsoft Surface e Samsung SUR40.....	67
3.2.3	MultiTaction .....	69
<b>4</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b> .....	<b>71</b>
4.1	METADESK.....	72
4.2	REACTABLE .....	74
4.3	NIKVISION.....	77
4.4	KITVISION .....	78
4.5	TOYVISION.....	83
4.6	TIES: TANGIBLE INTERACTION IN EDUCATIONAL SCENARIO.....	86
4.7	ISAR: AN AUTHORING SYSTEM FOR INTERACTIVE TABLETOPS .....	87
4.8	ROBOTABLE.....	89
4.9	EXPERIMENTOS COM MESA TANGÍVEL.....	91
4.10	FRAMEWORKS PARA MESA TANGÍVEL .....	92
4.11	MESA TANGÍVEL PARA EDUCAÇÃO E ATIVIDADES COLABORATIVAS .	93
4.12	USO DE MESA TANGÍVEL COM PESSOAS COM DEFICIÊNCIA.....	96

<b>5</b>	<b>PLATAFORMA NIDABA .....</b>	<b>100</b>
5.1	MATERIAIS E MÉTODOS .....	101
5.2	ESPECIFICAÇÃO DOS REQUISITOS .....	105
5.2.1	Cenários de uso da plataforma Nidaba .....	106
5.2.2	Requisitos funcionais .....	108
5.2.3	Requisitos não funcionais .....	110
5.3	ARQUITETURA DA PLATAFORMA .....	111
5.3.1	Mesa tangível de baixo custo .....	114
5.3.2	Eduba Editor .....	117
5.3.3	Nidaba <i>Player</i> .....	125
5.3.4	Integração e comunicação com outras tecnologias .....	128
<b>6</b>	<b>ANÁLISE.....</b>	<b>137</b>
6.1	ANÁLISE DO KITVISION .....	138
6.2	ANÁLISE DA USABILIDADE DO EDUBA EDITOR .....	142
6.2.1	Questionário SUS de 2018-2 .....	145
6.2.2	Questionário SUS de 2019-1 .....	146
6.2.3	Questionário SUS de 2019-2 .....	147
6.2.4	Questionário SUS de 2020-1 .....	148
6.2.5	Questionário SUS de 2020-2 .....	149
6.2.6	Avaliação da utilidade e complexidade do Eduba Editor.....	150
6.2.7	Avaliação estruturada da usabilidade do Eduba Editor.....	151
6.3	ANÁLISE DAS ATIVIDADES DE CRIAÇÃO DE APLICAÇÕES .....	153
6.3.1	Atividade com o KitVision.....	154
6.3.2	Atividade com o Eduba Editor.....	155
<b>7</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>181</b>
7.1	DESENVOLVIMENTO E TECNOLOGIAS EMPREGADAS .....	183
7.2	COMPARAÇÃO COM TRABALHOS RELACIONADOS .....	186
7.3	USABILIDADE E UTILIDADE.....	191
7.4	ESTRATÉGIAS EDUCACIONAIS UTILIZANDO MESA TANGÍVEL.....	192
7.4.1	Planejamento.....	201
7.4.2	Edição dos Recursos Multimídia .....	202
7.4.3	Criação da aplicação com o Eduba Editor.....	203
7.5	LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	207
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>209</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>212</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>227</b>

# 1 INTRODUÇÃO

É cada vez maior a necessidade de recursos tecnológicos para utilização na educação inclusiva, especialmente recursos que possam ser ao mesmo tempo, uma tecnologia assistiva capaz de eliminar barreiras para estudantes com algum tipo de deficiência, e um recurso interativo e inovador para todos. Neste contexto, uma plataforma digital para produção de recursos educacionais inclusivos baseados em mesa tangível é uma proposta inovadora para que o próprio educador possa criar as aplicações de acordo com as necessidades de cada um.

A motivação para esta pesquisa se deu a partir da minha participação como bolsista num projeto de pesquisa e como auxiliar no trabalho de Vieira (2018), que foi precursora no uso de mesa tangível no PPGIE/UFRGS, envolvendo o desenvolvimento de um ambiente de aprendizagem baseado em mesa tangível, com a construção de uma mesa tangível, a confecção dos objetos concretos e a programação da aplicação para a mesa utilizando uma ferramenta de autoria disponível, o que me fez perceber o quanto ainda está incipiente essa tecnologia e o potencial que ela tem para uso na educação inclusiva.

Com a minha experiência como desenvolvedor de sistemas e como docente no ensino superior na área de computação (licenciatura e bacharelado), percebi o quanto poderiam ser aprimorados o editor e a mesa tangível e o quão relevante poderia ser a disseminação dessa tecnologia e o seu uso na educação inclusiva. Isso motivou o desenvolvimento da proposta de desenvolver uma plataforma com uma ferramenta de autoria com mais recursos e possibilidades do que os existentes e que a mesma pudesse ser utilizada de modo interativo, sem necessidade de programação. Além disso, a viabilidade de integração da mesa tangível com os outros recursos educacionais desenvolvidos nos projetos do grupo de pesquisa, como fantoches eletrônicos, robôs educacionais e ambientes de realidade virtual, consolidou a proposta inovadora e sua importância e relevância.

A seguir são apresentadas a contextualização, o tema, o problema, os objetivos e a estrutura do texto desta tese.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A utilização de recursos de tecnologia da comunicação e informação em ambientes de ensino-aprendizagem apresenta uma dinâmica de interação através de um ambiente para a mediação entre sujeitos capaz de oferecer condições para envolver as crianças e estimular a

interação e a construção do seu próprio conhecimento através da comunicação textual, visual e motora e da comunicação entre os sujeitos envolvidos e com os objetos de aprendizagem (PASSERINO, SANTAROSA, 2002). A utilização desses recursos torna-se ainda mais relevante e se potencializa quando envolve o processo de ensino-aprendizagem de crianças com deficiência na comunicação ou cognitiva, na qual os mesmos têm suas interações sociais restritas devido a déficits primários ou secundários na comunicação, o que inevitavelmente acarreta um comprometimento no desenvolvimento dessas atividades e a consequente dificuldade da construção do conhecimento.

As políticas públicas de educação têm assegurado o direito à educação a todas as pessoas, garantindo o acesso ao ensino inclusivo para todas que têm algum tipo de deficiência ou transtorno do espectro autista. Essa inclusão traz novos desafios para os educadores, que precisam estar preparados e necessitam dispor de técnicas, metodologias e recursos para proporcionar uma educação ampla e completa para esses estudantes. A educação inclusiva precisa contemplar a eliminação de barreiras no ambiente físico e social que impedem ou dificultam a plena participação das pessoas com deficiência em todos os aspectos. É fundamental que a acessibilidade esteja presente em diferentes contextos, como o arquitetônico, comunicacional, metodológico, instrumental, atitudinal e programático. A educação inclusiva também pode fazer uso de tecnologia assistiva com produtos, serviços, técnicas, aparelhos e procedimentos criados especificamente para compensar os impedimentos de uma pessoa e melhorar sua capacidade funcional, promovendo a inclusão e autonomia.

Segundo dados do INEP (INEP, 2021), em 2020 o número de estudantes matriculados na educação especial do ensino básico foi 1.308.900, correspondendo a 2,8% das matrículas totais (47.295.294). Destas, 88% são matrículas em classes inclusivas comuns (1.152.875) e 12% em classes exclusivas (156.025). Se for considerado apenas os anos iniciais da educação básica, os percentuais são mais significativos, com 3,5% das matrículas na educação especial. Dos estudantes matriculados na educação especial em classes comuns (inclusiva), 64% possuem deficiência intelectual, 19,8% tem autismo, 11,3% tem deficiência física, 6,3% tem baixa visão, 5,5% tem deficiência múltipla, 3,2% tem deficiência auditiva, 1,7% tem surdez, 0,5% tem cegueira e 0,04% tem surdocegueira.

A necessidade legal e moral de garantir o direito universal à educação para toda e qualquer pessoa, num contexto inclusivo, requer uma transformação nas práticas pedagógicas, de modo a garantir o acesso, a permanência e a aprendizagem de todos. Uma escola inclusiva apresenta oportunidades iguais para todos e estratégias diferentes para cada um, de modo que

todos possam desenvolver seu potencial. Não basta a escola simplesmente aceitar a matrícula de estudantes com deficiência e abordar a inclusão como um projeto adicional, atrelado às práticas já existentes. A educação inclusiva não envolve somente a matrícula e presença, mas precisa garantir o direito de todos de participar e aprender em igualdade de condições. Para que a inclusão se concretize, há a necessidade de adequação do espaço escolar, de seus equipamentos e materiais pedagógicos, uso de tecnologias assistivas e capacitação dos recursos humanos. A formação continuada de professores precisa garantir e proporcionar uma melhora na qualidade do ensino, assegurando que estes estejam aptos a elaborar e implementar novas propostas e práticas de ensino para atender as diferentes características de seus estudantes, incluindo aquelas evidenciadas pelos que apresentam necessidades educacionais especiais, adaptando os recursos pedagógicos para esse contexto.

Os avanços nas pesquisas no que se refere a ambientes computacionais para apoio e suporte ao ensino, especialmente para crianças com algum tipo de deficiência, envolve o uso e o aprimoramento de interfaces tangíveis, robótica e realidade virtual (CEREZO *et al.*, 2019; BALDASSARRI, PASSERINO, *et al.*, 2018; KOROZI *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2019). Neste sentido, estes objetos, ambientes e cenários são manipulados e influenciados pelos sujeitos que interagem e participam do processo de construção do conhecimento.

O uso de interfaces tangíveis para fins educacionais apresenta consideráveis vantagens e pode proporcionar um incremento no engajamento e motivação dos estudantes, além de se revelarem recursos de tecnologia assistiva particularmente adequados para fins educacionais. O uso de interfaces tangíveis com crianças com déficit na linguagem e comunicação permite desenvolver a coordenação motora fina, ao mesmo tempo em que se apropriam de metáforas - representações visuais e simbólicas de outros objetos, que é um dos déficits em processos de comunicação (SITDHISANGUAN, *et al.*, 2012).

## 1.2 TEMA

O tema a ser explorado é o desenvolvimento de uma plataforma baseada em mesa tangível para ser utilizada como um instrumento de mediação tecnológica na educação inclusiva, fazendo uso do poder do pictográfico na representação do conhecimento e dos objetos tangíveis, além de outras mídias como sons, animações e vídeos, de modo a permitir que o educador desenvolva e utilize a interação tangível de maneira mais intuitiva e amigável.

Esta plataforma é uma proposta inovadora do uso de tecnologias tangíveis, interfaces naturais, ambientes imersivos e dispositivos robóticos combinados com comunicação alternativa e aumentativa (CAA) para a produção de recursos educacionais tangíveis e eletrônicos que atendam à diversidade nas aulas inclusivas e na educação especial. A solução proposta contempla um eixo tecnológico e um eixo pedagógico. O eixo tecnológico baseia-se no desenvolvimento de software, com a criação de um editor para a produção e dos recursos educacionais em mesa tangível e as bibliotecas de comunicação para integração da mesa tangível com os robôs, dispositivos eletrônicos e ambientes de realidade virtual. O eixo pedagógico envolve a análise de quais recursos e funcionalidades os professores da educação básica, do atendimento educacional especializado (AEE) e da educação especial necessitam para planejar e criar as atividades para esse ambiente baseado em mesa tangível.

Esta pesquisa está voltada para a educação inclusiva, com um olhar em relação ao uso da tecnologia como um recurso de tecnologia assistiva na formação dos sujeitos participantes, propiciando a compensação social da deficiência (VYGOTSKY, 2012), ao permitir que o sujeito supere barreiras a partir da mediação pedagógica apoiada com tecnologia. Ela também está em consonância com o Estatuto da Pessoa com Deficiência, por proporcionar e auxiliar no desenvolvimento de novos métodos e técnicas pedagógicas, de materiais didáticos, de equipamentos e de recursos de tecnologia assistiva.

A plataforma proposta é um instrumento de mediação tecnológica que pode ser utilizado em atividades educacionais em mesas tangíveis, computadores, smartphones e tablets, num contexto inclusivo para pessoas com ou sem deficiência. As atividades para a mesa tangível, criadas como uma tecnologia assistiva para crianças com necessidades educacionais especiais apresentam um potencial maior para crianças com deficiência intelectual ou autismo, mas apresentam também um grande potencial para criação de atividades educacionais e colaborativas para estudantes com deficiência visual, auditiva ou física e também para os que não tem deficiências, criadas com base no design universal.

Esta pesquisa tem uma influência da teoria sócio-histórica de Vygotsky na concepção da plataforma como um instrumento de mediação tecnológica, especialmente em relação à sua característica interacionista, à importância da mediação nos processos de ensino-aprendizagem e à forma como as aprendizagens ocorrem, tanto em pessoas com ou sem deficiência, visto que a profa. Dra. Liliana Passerino (*in memoriam*), que iniciou a orientação desta tese, era seguidora e defensora das teorias de Vygotsky. Isto não limita ou inviabiliza o uso deste instrumento de mediação tecnológica para uso em diferentes contextos educacionais e abordagens, pois ela

permite ao educador criar os recursos educacionais de acordo com a metodologia, técnica ou modelo educativo de sua preferência.

### 1.3 PROBLEMA

Dentre os principais problemas relacionados ao uso de interfaces tangíveis no ambiente educacional, um dos que se destacam são as pouquíssimas opções de produtos comerciais disponíveis e o alto custo que as mesmas oferecem. Da mesma forma, há algumas tecnologias tangíveis desenvolvidas, porém, cada uma apresenta abordagens específicas e não há publicações sistematizadas que facilitem e auxiliem seu uso.

Outro problema enfrentado atualmente é que os educadores que podem fazer uso destas tecnologias e ambientes não têm o conhecimento em informática e lógica de programação, muitas vezes necessários para a criação de recursos educacionais com essas tecnologias. O desafio atualmente é unir essas diferentes tecnologias para criar ambientes e espaços de aprendizagem, que envolvam esses diferentes objetos e instrumentos e que possam ser utilizados na educação inclusiva de forma fácil e intuitiva pelos educadores.

O problema de pesquisa deste trabalho é que características uma plataforma digital deve conter para atender às necessidades dos educadores na educação inclusiva?

### 1.4 OBJETIVOS

O objetivo geral é construir uma plataforma digital para produção de recursos educacionais baseados em mesa tangível que atendam às necessidades dos educadores na educação inclusiva.

Os objetivos específicos são:

- realizar o levantamento de necessidades pedagógicas, questões de acessibilidade e de atividades cognitivas para a interação tangível no contexto inclusivo;
- desenvolver um editor para criação de recursos educacionais para a mesa tangível, que seja intuitivo e de fácil utilização por educadores que não dominam lógica de programação;
- desenvolver um *player* para utilizar e executar os recursos educacionais em mesas tangíveis e que permita a simulação em computadores, tablets e smartphones, com a



possibilidade de interação com fantoches eletrônicos, robôs educacionais e ambientes de realidade virtual;

- definir uma especificação de baixo custo para a construção e uso de mesa tangível na educação inclusiva; e
- propor estratégias educacionais para uso da mesa tangível na educação inclusiva.

## 1.5 ESTRUTURA DO TEXTO

O segundo capítulo apresenta os conceitos, termos e definições do contexto educacional da pesquisa sobre a educação especial inclusiva, os principais aspectos e legislação envolvendo as pessoas com deficiência e as necessidades educacionais especiais que elas apresentam. Como a mesa é um instrumento de mediação tecnológica que pode fazer uso de outros instrumentos ou elementos tangíveis, além de signos e símbolos linguísticos, apresenta esses conceitos e os contextos sociais para a aprendizagem, baseado na teoria sócio-histórica de Vygotsky, além dos fundamentos de mediação e mediação tecnológica.

O terceiro capítulo apresenta os aspectos tecnológicos que envolvem a pesquisa em relação à mesa tangível, às tecnologias para sua construção e para desenvolvimento de sistemas que as utilizam.

O quarto capítulo apresenta uma revisão bibliográfica com os principais trabalhos relacionados com mesa tangível e sobre as tecnologias para interfaces tangíveis, experimentos e frameworks para mesa tangível, uso das mesas tangíveis para educação, atividades colaborativas e com pessoas com deficiência.

O quinto capítulo apresenta a plataforma desenvolvida, com a metodologia desta pesquisa, os cenários de uso e a especificação dos requisitos, o detalhamento da sua arquitetura, envolvendo a especificação para a construção da mesa tangível de baixo custo, a ferramenta de autoria desenvolvida para criação das aplicações baseadas em mesa tangível, o ambiente de execução das aplicações e a integração de aplicações para mesa tangível com fantoches eletrônicos, robôs educacionais e ambientes de realidade virtual.

O sexto capítulo apresenta a análise dos dados, envolvendo a análise do uso de uma outra ferramenta de autoria antes do desenvolvimento desta proposta, a análise da usabilidade do editor desenvolvido, a avaliação das atividades criadas com a ferramenta de autoria (editor) e apresenta as aplicações desenvolvidas.

O sétimo capítulo apresenta os resultados e discussões sobre as tecnologias empregadas no desenvolvimento desta proposta, a comparação com outros trabalhos, a usabilidade e utilidade do editor e da plataforma, apresenta e propõe as estratégias educacionais para uso desta plataforma na educação inclusiva e finaliza o capítulo com as limitações e trabalhos futuros.

## 2 EDUCAÇÃO ESPECIAL INCLUSIVA

A educação especial inclusiva é uma metodologia pedagógica que mescla características do ensino regular com a educação especial, promovendo a integração entre crianças com diferentes necessidades educacionais, desenvolvendo e empregando métodos que podem ser aplicados tanto a estudantes com alguma deficiência quanto àqueles que não tenham. Na educação inclusiva, os espaços, as metodologias e os materiais são adaptados para o convívio de todos, pois cada um tem suas particularidades, que precisam ser identificadas para que o mesmo possa enfrentar e eliminar quaisquer barreiras. Portanto, incluir é reconhecer a diversidade de aprendizado, buscando alternativas que favoreçam a aprendizagem de múltiplas formas para todos os estudantes, com ou sem deficiência.

A educação especial inclusiva envolve questões legais e educacionais que são abordadas neste capítulo, juntamente com questões de design dos recursos educacionais para este contexto. Além disso, é apresentada a abordagem sócio-histórica sobre a qual esta plataforma foi concebida, especialmente as características interacionistas da mesma, a importância da mediação e dos instrumentos e signos no processo de aprendizagem, a não segregação dos estudantes com necessidades educacionais especiais e o papel da mediação tecnológica.

### 2.1 QUESTÕES LEGAIS

As políticas públicas garantem o acesso à educação a todas as pessoas, com ou sem deficiência, em igualdade de condições, mas deixa a cargo das escolas e professores a forma como isso vai ser implementado. É necessário compreender as necessidades de cada um dos estudantes, bem como dos recursos disponíveis para adequar as técnicas, metodologias e recursos a fim de proporcionar uma educação ampla e completa para todos.

A educação especial é definida como a modalidade de educação escolar oferecida para educandos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades ou superdotação, preferencialmente na rede regular de ensino, contando com serviços de apoio especializado, para atender às peculiaridades dos estudantes de educação especial ou em classes, escolas ou serviços especializados, quando, em função das condições específicas dos mesmos, não for possível a sua integração nas classes comuns de ensino regular (BRASIL, 1996).

A educação inclusiva é uma modalidade de ensino para todos. O processo educativo precisa ser entendido como um processo social, onde todas as crianças com deficiência ou distúrbios de aprendizagem têm o direito à escolarização, sem segregação ou discriminações. Numa escola de educação especial ou turma de educação especial exclusiva não existem estudantes sem deficiência. Já na educação inclusiva todos os alunos, com e sem deficiência, têm a oportunidade de conviverem e aprenderem juntos. A educação especial inclusiva é a garantia do direito de todos à educação e à valorização das diferenças culturais, étnico-raciais, sexuais, físicas, sensoriais, intelectuais, emocionais, linguísticas e outras.

O Estatuto da Pessoa com Deficiência garante o direito a educação a todos, num sistema educacional inclusivo, sem discriminação, usando os recursos de acessibilidade:

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.

Parágrafo único. É dever do Estado, da família, da comunidade escolar e da sociedade assegurar educação de qualidade à pessoa com deficiência, colocando-a a salvo de toda forma de violência, negligência e discriminação.

Art. 28. Incumbe ao poder público assegurar, criar, desenvolver, implementar, incentivar, acompanhar e avaliar:

I - sistema educacional inclusivo em todos os níveis e modalidades, bem como o aprendizado ao longo de toda a vida;

II - aprimoramento dos sistemas educacionais, visando a garantir condições de acesso, permanência, participação e aprendizagem, por meio da oferta de serviços e de recursos de acessibilidade que eliminem as barreiras e promovam a inclusão plena;

III - projeto pedagógico que institucionalize o atendimento educacional especializado, assim como os demais serviços e adaptações razoáveis, para atender às características dos estudantes com deficiência e garantir o seu pleno acesso ao currículo em condições de igualdade, promovendo a conquista e o exercício de sua autonomia;

...

V - adoção de medidas individualizadas e coletivas em ambientes que maximizem o desenvolvimento acadêmico e social dos estudantes com deficiência, favorecendo o acesso, a permanência, a participação e a aprendizagem em instituições de ensino;

VI - pesquisas voltadas para o desenvolvimento de novos métodos e técnicas pedagógicas, de materiais didáticos, de equipamentos e de recursos de tecnologia assistiva;

VII - planejamento de estudo de caso, de elaboração de plano de atendimento educacional especializado, de organização de recursos e serviços de acessibilidade e de disponibilização e usabilidade pedagógica de recursos de tecnologia assistiva;

...

XVI - acessibilidade para todos os estudantes, trabalhadores da educação e demais integrantes da comunidade escolar às edificações, aos ambientes e às atividades concernentes a todas as modalidades, etapas e níveis de ensino; (BRASIL, 2015).

O Plano Nacional de Educação (PNE), aprovado em 2014, traçou estratégias e metas para a agenda de políticas educacionais do Brasil até 2024, prevendo educação inclusiva mais abrangente:

Meta 4: universalizar, para a população de 4 (quatro) a 17 (dezessete) anos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades ou superdotação, o acesso à educação básica e ao atendimento educacional especializado, preferencialmente na rede regular de ensino, com a garantia de sistema educacional inclusivo, de salas de recursos multifuncionais, classes, escolas ou serviços especializados, públicos ou conveniados.

Estratégias:

...

4.3) implantar, ao longo deste PNE, salas de recursos multifuncionais e fomentar a formação continuada de professores e professoras para o atendimento educacional especializado nas escolas urbanas, do campo, indígenas e de comunidades quilombolas;

4.4) garantir atendimento educacional especializado em salas de recursos multifuncionais, classes, escolas ou serviços especializados, públicos ou conveniados, nas formas complementar e suplementar, a todos (as) alunos (as) com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades ou superdotação, matriculados na rede pública de educação básica, conforme necessidade identificada por meio de avaliação, ouvidos a família e o aluno; (BRASIL, 2014)

Essas garantias legais mais recentes apenas ampliaram e consolidaram os direitos das pessoas com deficiência, como a aprovação (BRASIL, 2008) e promulgação (BRASIL, 2009) da Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e seu Protocolo Facultativo, a Política Nacional de Educação Especial (2008), a Lei de Diretrizes e Bases da Educação (BRASIL, 1996) e a Constituição Federal (1988). A Conferência Mundial sobre Necessidades Educacionais Especiais, realizada em 1994, em Salamanca, inspirou as políticas educacionais brasileiras, trazendo consigo o princípio das escolas inclusivas, proclamando que:

- toda criança tem direito fundamental à educação, e deve ser dada a oportunidade de atingir e manter o nível adequado de aprendizagem;
- toda criança possui características, interesses, habilidades e necessidades de aprendizagem que são únicas;
- sistemas educacionais deveriam ser designados e programas educacionais deveriam ser implementados no sentido de se levar em conta a vasta diversidade de tais características e necessidades;
- aqueles com necessidades educacionais especiais devem ter acesso à escola regular, que deveria acomodá-los dentro de uma Pedagogia centrada na criança, capaz de satisfazer a tais necessidades. (“Declaração de Salamanca”, 1994)

A **acessibilidade** envolve a possibilidade e condição de alcance para utilização por pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida, 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. Ela envolve a eliminação de barreiras no ambiente físico e social que impedem ou dificultam a plena participação das pessoas com e sem deficiência em todos os aspectos da vida.

As **barreiras** são (BRASIL, 2015):

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;

A **tecnologia assistiva**, que, no passado era chamada de ajuda técnica, é qualquer produto, equipamento, dispositivo, recurso, metodologia, estratégia, prática e serviço criado especificamente para compensar os impedimentos de uma pessoa e melhorar sua capacidade funcional, para 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).

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 deficiência podem ser:

- a) **deficiência física:** Impedimentos físicos e/ou motores que demandam o uso de recursos, meios e sistemas que garantam acessibilidade ao currículo e aos espaços escolares. São exemplos de deficiência física: paraplegia, paraparesia, monoplegia, monoparesia, tetraplegia, tetraparesia, triplegia, triparesia, hemiplegia, hemiparesia, ostomia, amputação ou ausência de membro, paralisia cerebral, nanismo, entre outros;
- b) **deficiência auditiva e surdez:** impedimentos permanentes de natureza auditiva, ou seja, perda parcial (deficiência auditiva) ou total (surdez) da audição que, em interação com barreiras comunicacionais e atitudinais, podem impedir a plena participação e aprendizagem do aluno. Dessa forma, são necessários recursos didáticos que valorizem a visualidade e possibilitem a superação das dificuldades de aprendizagem, especialmente da língua;
- c) **deficiência visual:** perda total ou parcial da visão, congênita ou adquirida, variando o nível, podendo ser classificada como cegueira ou baixa visão. Cegueira é a perda total da função visual ou pouquíssima capacidade de enxergar. Nesse caso, o aluno utiliza o Sistema Braille de leitura e escrita, bem como os recursos didáticos, tecnológicos e os equipamentos especiais para o processo de comunicação. Baixa visão é a perda parcial da função visual. Nesse caso, o aluno possui resíduo visual e apresenta capacidade potencial de utilização da visão prejudicada para atividades escolares e de locomoção, mesmo após o melhor tratamento ou a máxima correção óptica específica, necessitando, portanto, de recursos educativos especiais, como material em letra ampliada, por exemplo;

- d) **deficiência intelectual:** Alterações significativas tanto no desenvolvimento intelectual como na conduta adaptativa e na forma de expressar habilidades práticas, sociais e conceituais;
- e) **deficiência múltipla:** associação de duas ou mais deficiências; e
- f) **surdocegueira:** Deficiência única, caracterizada pela deficiência auditiva e visual concomitantemente. Cabe destacar que essa condição apresenta outras particularidades, além daquelas causadas pela deficiência auditiva, surdez, baixa visão e cegueira (INEP/MEC, 2019);

Legalmente, no Brasil, também é considerado pessoa com deficiência a pessoa com transtorno do espectro autista (TEA), cuja síndrome clínica é caracterizada por:

- a) deficiência persistente e clinicamente significativa da comunicação e da interação sociais, manifestada por deficiência marcada de comunicação verbal e não verbal usada para interação social; ausência de reciprocidade social; falência em desenvolver e manter relações apropriadas ao seu nível de desenvolvimento;
- b) padrões restritivos e repetitivos de comportamentos, interesses e atividades, manifestados por comportamentos motores ou verbais estereotipados ou por comportamentos sensoriais incomuns; excessiva aderência a rotinas e padrões de comportamento ritualizados; interesses restritos e fixos (BRASIL, 2012).

O Transtorno do Espectro do Autismo (TEA) passou a constar na nova Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde, a CID-11 (ICD-11 - *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems*), da Organização Mundial da Saúde (OMS), que entrará em vigor em 2022. O documento seguiu a alteração feita em 2013 na nova versão do Manual de Diagnóstico e Estatística dos Transtornos Mentais, o DSM-5 (*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*), que reuniu todos os transtornos que estavam dentro do espectro do autismo num só diagnóstico: TEA. A CID-10 (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 1993) trazia vários diagnósticos dentro dos Transtornos Globais do Desenvolvimento (TGD — sob o código F84), como: Autismo Infantil (F84.0), Autismo Atípico (F84.1), Síndrome de Rett (F84.2), Transtorno Desintegrativo da Infância (F84.3), Transtorno com Hipercinesia Associada a Retardo Mental e a Movimentos Estereotipados (F84.4), Síndrome de Asperger (F84.5), Outros TGD (F84.8) e TGD sem Outra Especificação (F84.9). A nova versão da classificação agrupa todos esses diagnósticos no Transtorno do Espectro do Autismo (código 6A02), com as subdivisões relacionadas apenas aos prejuízos na linguagem funcional e deficiência intelectual.

## 2.2 QUESTÕES EDUCACIONAIS

Os objetivos da educação especial inclusiva envolvem a alteração da estrutura tradicional da escola, fundamentada em padrões de ensino homogêneos e critérios de seleção e classificação, promovendo o acesso, a participação e a aprendizagem de estudantes com

deficiência ou transtornos globais do desenvolvimento nas escolas comuns. Os cinco princípios da educação inclusiva são (DIVERSA, [S.d.]):

- toda pessoa tem o direito de acesso à educação;
- toda pessoa aprende;
- o processo de aprendizagem de cada pessoa é singular;
- o convívio no ambiente escolar comum beneficia todos; e
- a educação inclusiva se refere a todos.

A escola acessível tem o objetivo de promover a acessibilidade e inclusão de estudantes com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades ou superdotação, matriculados em classes comuns do ensino regular, assegurando-lhes o direito de compartilhar os espaços comuns de aprendizagem, por meio da acessibilidade ao ambiente físico, aos recursos didáticos e pedagógicos e às comunicações e informações. Isso é possível com adequações arquitetônicas ou estruturais, com espaços físicos reservados para instalação e funcionamento de salas de recursos multifuncionais, a fim de atender os requisitos de acessibilidade, como adequações de sanitários, portas e vias de acesso, construção de rampas, colocação de sinalização tátil e visual, aquisição de mobiliário acessível, e outros recursos de tecnologia assistiva:

Os recursos de tecnologia assistiva estão muito próximos do nosso dia-a-dia. Ora eles nos causam impacto devido à tecnologia que apresentam, ora passam quase despercebidos. Para exemplificar, podemos chamar de tecnologia assistiva uma bengala, utilizada por nossos avós para proporcionar conforto e segurança no momento de caminhar, bem como um aparelho de amplificação utilizado por uma pessoa com surdez moderada ou mesmo um veículo adaptado para uma pessoa com deficiência (MANZINI, 2005, p. 82).

Pesquisas têm revelado que os processos de desenvolvimento cognitivo e aprendizado de qualquer estudante, com ou sem deficiência, estão relacionados, principalmente ao tipo de modelo educacional pelo qual se opta, estando, portanto, relacionados à construção de um novo paradigma que respeite e valorize a diversidade humana, e que responda individualmente e de forma flexível, às características, necessidades e potencialidades de cada um, respeitando os seus ritmos e formas de aprendizagem, independentemente deles possuírem ou não uma deficiência, já que:

A escola comum se torna inclusiva quando reconhece as diferenças dos alunos diante do processo educativo e busca a participação e o progresso de todos, adotando novas práticas pedagógicas. [...] Para atender a todos e atender melhor, a escola atual tem de mudar, e a tarefa de mudar a escola exige trabalho em muitas frentes (ROPOLI, MANTOAN, *et al.*, 2010, p. 9 e 10).



As pesquisas que estudam as implicações da presença das novas tecnologias na sociedade e na educação também apontam para a necessidade de uma mudança de paradigma nos processos educacionais das escolas, com a necessidade de superar as dinâmicas tradicionais de repasse massificado de informações. Com isso, a valorização e a atenção às particularidades de cada processo individual na construção dos conhecimentos dos estudantes pode ser favorecida, respeitando e atendendo as necessidades específicas de cada um, quer eles tenham ou não alguma deficiência (GALVÃO FILHO, 2004).

A educação inclusiva proporciona uma educação para pessoas com ou sem deficiência num mesmo espaço, na sala de ensino regular. Se o estudante com alguma deficiência tiver alguma necessidade educacional especial, os educadores destas salas precisam utilizar recursos de tecnologia assistiva e atuar de forma colaborativa com o educador da sala de atendimento educacional especializado para a definição de estratégias pedagógicas que favoreçam o acesso do estudante ao currículo, à sua interação no grupo e à sua formação plena.

### **2.2.1 Atendimento educacional especializado**

O atendimento educacional especializado (AEE) é a mediação pedagógica que possibilita o acesso ao currículo pelo atendimento às necessidades educacionais específicas dos estudantes com deficiência ou transtorno do espectro autista (TEA) e precisa ocorrer, preferencialmente, na rede regular de ensino, para desenvolver práticas pedagógicas inclusivas e atividades. Tem o objetivo de eliminar barreiras no processo de ensino-aprendizagem e garantir o pleno acesso e participação desses estudantes na escola regular. As atividades desenvolvidas no AEE são diferentes das realizadas na sala de aula comum, não sendo substitutivas à escolarização, mas complementando e suplementando a formação dos alunos com vistas à autonomia e à independência do aluno (INEP/MEC, 2019).

Além do desenvolvimento de atividades diversificadas e práticas pedagógicas inclusivas, as salas de atendimento educacional especializado promovem o uso e criação de recursos de tecnologias assistiva, capazes de eliminar barreiras no processo de ensino-aprendizagem. Como o processo de aprendizagem de cada pessoa é singular, as tecnologias assistivas precisam ser escolhidas a partir das necessidades específicas de cada um, para garantir a eliminação das barreiras, a participação do estudante e a sua aprendizagem. É o local adequado para ser instalada uma mesa tangível, para a qual, podem ser criadas e executadas as aplicações que servirão como recursos de tecnologia assistiva.

### 2.2.2 Necessidades educacionais especiais

Incluir estudantes com necessidades educacionais especiais (NEE) numa classe regular envolve mudanças pedagógicas que necessitam ser individualizadas no projeto escolar para atender as demandas, de acordo com a diversidade dos incluídos. A adequação e flexibilização do currículo escolar são fundamentais para a inclusão integral do estudante com NEE, de acordo com suas limitações, dificuldades e habilidades, priorizando o desenvolvimento de habilidades sociais e cognitivas. Para maximizar as oportunidades de aprendizagem e inclusão, o estudante com NEE necessita receber assistência individual na sala de aula, com o auxílio de professores assistentes e, se necessário, receber atendimento complementar especializado em sala de recursos multifuncionais, na própria escola.

O uso de computadores permite que os estudantes em geral sigam o seu próprio ritmo e podem ser usados para complementar as atividades e projetos independentes, além de ajudar no aprendizado e domínio de material não ministrado em aulas regulares. Os recursos de tecnologia assistiva, como as mesas tangíveis também podem ser um importante aliado no processo educacional inclusivo.

É importante que as adequações nos procedimentos didáticos e nas atividades de ensino e aprendizagem sejam realizadas, com alteração nos métodos definidos para o ensino dos conteúdos curriculares e seleção de um método mais acessível para o estudante, além de proporcionar atividades complementares que requeiram habilidades diferentes ou a fixação e consolidação de conhecimentos já ministrados. A introdução de atividades alternativas, além das planejadas para a turma, é indicada nas atividades mais complexas que exigem uma sequência de tarefas. Pode-se também alterar o nível de abstração e de complexidade das atividades oferecendo recursos de apoio visuais, auditivos, gráficos e materiais manipulativos (SEESP/MEC, 2006).

Para potencializar o aprendizado, é importante que o conteúdo abordado tenha aplicação na vida diária do estudante, do mesmo modo que tenha uma vinculação desses conhecimentos com outros previamente aprendidos. Isso requer do professor um bom conhecimento do tema, mas principalmente das necessidades de cada um. A interação e o desenvolvimento de habilidades sociais são fundamentais no processo de ensino-aprendizagem, com o educador proporcionando oportunidades de interação social para intensificar o aprendizado, como trabalhos em grupo, discussões e debates.

Para a inserção pedagógica, de acordo com as condições e limitações de cada caso, é necessário definir os recursos pedagógicos alternativos, assim como a necessidade de recursos tecnológicos e de comunicação facilitada que podem ser usados no atendimento em salas de recursos multifuncionais. As mesas tangíveis podem ser um recurso capaz de proporcionar os recursos e funcionalidades para a grande maioria das necessidades educacionais especiais e aplicações podem ser desenvolvidas com recursos específicos e adequados para cada necessidade. Cada tipo de deficiência apresenta particularidades nas necessidades educacionais especiais, que são descritas a seguir e que precisam ser consideradas no planejamento e desenvolvimento de recursos tecnológicos para uso na educação inclusiva.

#### 2.2.2.1 Deficiência intelectual

Para o ensino de uma criança com deficiência intelectual, o educador necessita obter informações sobre os interesses, preferências, habilidades e limitações na vida social do estudante para desenvolver um plano de desenvolvimento individual, pois eles normalmente apresentam uma limitação do vocabulário e dificuldades de linguagem e comunicação. Um vocabulário acessível e explicações objetivas previnem interpretações equivocadas e facilitam a compreensão geral e específica da criança. A repetição de explicações e correção de comportamentos inadequados é quase sempre necessária. Uma forma de tornar eficaz a repetição é aliar à instrução verbal o uso de recursos visuais e auditivos.

A pessoa com deficiência mental encontra inúmeras barreiras nas interações com o meio para assimilar as propriedades físicas do objeto de conhecimento, como por exemplo: cor, forma, textura, tamanho e outras características dos objetos. Para ela, a acessibilidade não depende de suportes externos ao sujeito, mas precisa alterar a posição passiva e automatizada diante da aprendizagem, para o acesso e apropriação ativa do próprio saber. Por esse motivo, não basta realizar repetições pura e simples de noções de cores e formas, mas deve-se trabalhar a abstração, através da projeção das ações práticas em pensamento. Não é indicado realizar as atividades em grupos formados por estudantes com o mesmo tipo de problema (patologias) e/ou desenvolvimento. Pelo contrário, é mais indicado que esses grupos sejam constituídos de estudantes da mesma faixa etária, mas com diferentes síndromes, patologias ou sequelas, com diferentes deficiências e com diferentes possibilidades de acesso ao conhecimento. É fundamental permitir a autonomia do estudante para escolher o caminho da solução e a sua maneira de atuar inteligentemente:

O contato direto com os objetos a serem conhecidos, ou seja, com a sua “concretude” não pode ser descartada, mas o importante é intervir no sentido de fazer com que esses alunos percebam a capacidade que têm de pensar, de realizar ações em pensamento, de tomar consciência de que são capazes de usar a inteligência de que dispõem e de ampliá-la, pelo seu esforço de compreensão, ao resolver uma situação problema qualquer (SEESP/SEED/MEC, 2007).

A instrução passo a passo é muito importante, com as tarefas divididas em pequenos passos, com possibilidade de erros e correções até que ele alcance autonomia, com devolutiva (feedback) imediata, permitindo que o aluno interprete rapidamente a adequação de suas respostas. Os materiais de aula precisam contemplar objetos, de modo que o aluno demonstre interesse e tenha acesso a eles, podendo ver, tocar, explorar e utilizá-los (COMUNIDADE APRENDER CRIANÇA, 2014).

#### 2.2.2.2 Deficiência auditiva

Para estudantes com deficiência auditiva, é fundamental que sejam proporcionados e oferecidos materiais e equipamentos específicos, como prótese auditiva, treinadores de fala, softwares educativos específicos, material visual e outros de apoio, para favorecer a apreensão das informações expostas verbalmente. Os textos escritos precisam ser complementados com elementos que favoreçam a sua compreensão com linguagem gestual, língua de sinais e outros (SEESP/MEC, 2006). É necessário o uso de Libras, que é língua brasileira de sinais utilizada para comunicação com o surdo, sempre que possível em todo o material que envolve vídeos, pois ela é a língua materna desses indivíduos, visto que nem todos estão alfabetizados e entendem a Língua Portuguesa. Todos os vídeos necessitam ter também a opção de legendas em Língua Portuguesa.

Prover a educação bilíngue Libras-Português para estudantes surdos desde a educação infantil até o ensino fundamental é necessário para desenvolver competências linguísticas, metalinguísticas e cognitivas, de modo a permitir a aquisição do Português escrito e, com isso, todo o conteúdo escolar. A escola inclusiva precisa valorizar e promover o uso de Libras para o aluno surdo, como meio de comunicação, de educação e de ensino-aprendizagem, utilizando materiais didáticos e pedagógicos em Libras.

### 2.2.2.3 Deficiência visual

Crianças que nasceram com cegueira ou que a adquiriram antes dos cinco anos de idade são considerados cegos congênitos, pois mesmo que tenham apresentado desempenho visual até os cinco anos de idade, o comprometimento das vias ópticas e cerebrais restringe o reconhecimento de informações visuais e limita a bagagem de experiências visuais. Por outro lado, das pessoas com baixa visão, 70% a 80% possuem visão suficiente para manter a eficiência visual, permanecendo com a capacidade de leitura. A escrita para crianças com baixa visão precisa ser apresentada com alto contraste, em letra caixa, também chamada bastão ou letra de forma e escrita ampliada, com fonte Arial ou Verdana e tamanho do corpo da fonte de pelo menos 24 pontos (STOCKMANN, 2019).

Nas aulas com estudantes com deficiência visual, os desenhos, esquemas, figuras, e demais imagens, inclusive as mostradas em vídeo, necessitam de versões em relevo e apresentadas antecipadamente para ele, inclusive, com descrições em Português. A audiodescrição precisa ser acompanhada, sempre que possível, da exploração tátil da figura. É fundamental que mapas, gráficos e esquemas sejam oferecidos. A **audiodescrição** é um recurso de acessibilidade capaz de traduzir a informação visual em verbal, ampliando o entendimento das pessoas com deficiência visual e garantindo a comunicação, o acesso à informação e a inclusão nas mais diversas atividades como a educação, o entretenimento e o lazer. Em conteúdos digitais, sempre deve ser usado o **texto alternativo** (Alt Text – *Alternative Text*) em todos os conteúdos não textuais, como imagens, gráficos, *applets*, animações, etc. Um texto alternativo permite que o usuário seja capaz de converter as informações desse texto em fala através dos leitores de tela.

A matéria escrita no quadro precisa ser fornecida ao estudante, preferivelmente em Braille ou em formato digital, se o aluno utilizar esse recurso. Na exibição de recursos visuais o educador pode oferecer audiodescrição através de outro aluno, de modo que ambos aprendam juntos. Os exercícios escritos no quadro precisam ser lidos em voz alta. É fundamental que o material concreto, tridimensional ou palpável esteja à mão do educador, de modo a poder utilizá-lo quando a explicação ou compreensão da matéria assim exigir (COMUNIDADE APRENDER CRIANÇA, 2014).

Para o estudante com deficiência visual é importante disponibilizar um sistema alternativo de comunicação adaptado às suas possibilidades, como sistema Braille ou tipos escritos com fonte ampliada. Além disso, é fundamental que sejam proporcionadas adaptações

de materiais escritos de uso comum: tamanho das letras, relevo, textos escritos com outros elementos (ilustrações táteis) para melhorar a compreensão, softwares educativos em tipo ampliado, textura modificada, livro falado, computador com sintetizador de voz, periféricos adaptados e recursos ópticos (SEESP/MEC, 2006).

#### 2.2.2.4 Deficiência física ou neuromotora

A escola inclusiva precisa proporcionar aos estudantes com deficiência motora um ambiente adequado para cuidados especiais individualizados com apoio técnico sempre quando necessário, providenciando equipamentos e mobiliário que atenda às dificuldades motoras específicas de cada um. É essencial prover ao estudante o uso de tecnologias assistivas e recursos tecnológicos visando o acesso aos conteúdos e atividades educacionais.

É importante a disponibilização de sistemas aumentativos ou alternativos de comunicação, adaptados às possibilidades do estudante impossibilitados de falar, baseado em sistemas de símbolos e elementos representativos, com desenhos lineares e sistemas que combinam símbolos pictográficos, ideográficos e arbitrários, auxílios físicos ou técnicos com tabuleiros de comunicação ou sinalizadores mecânicos e tecnologia microeletrônica, comunicação total e outros (SEESP/MEC, 2006).

As crianças com lesões cerebrais podem apresentar deficiências nas funções perceptuais, com dificuldades para discriminar cores, formas, números, tamanhos, natureza e semelhança de objetos, necessitando de acréscimos nos objetivos educacionais com o correspondente conteúdo de estimulação psicomotora. Planejar o ensino organizando objetos em categorias, enfatizando os aspectos e itens relevantes em um contexto, privilegiando experiências concretas antes de proceder ao estágio abstrato do trato dos símbolos pode auxiliar os estudantes que apresentem dificuldades de compreensão e aprendizagem de conceitos (SEESP/MEC B, 2006).

Os problemas observados envolvendo os métodos atuais nas terapias com crianças com paralisia cerebral, que precisam ser contornados são (LI, FONTIJN, *et al.*, 2008):

- a) **compensação:** as crianças parecem sempre encontrar uma maneira de compensar o movimento com o qual têm problemas e precisam praticar, por exemplo, usando as mãos ou os braços "bons". O terapeuta geralmente precisa intervir para impedir que eles o façam. As crianças resistem a isso; essa resistência geralmente retarda a terapia, reduz sua eficácia e é prejudicial à motivação;

- b) **falta de desafio cognitivo:** muitas tarefas de treinamento são repetitivas e não ajudam as crianças a apreciar o motivo de realizá-las. Especialmente quando eles podem executar as tarefas de maneira mais fácil do que o terapeuta solicita, eles resistem em refazê-las, perdendo o interesse e a concentração. No entanto, quando essas tarefas de treinamento físico foram incorporadas em quebra-cabeças ou atividades de construção de blocos, as crianças mostraram mais interesse;
- c) **motivação e regressão potencial:** após um longo período de treinamento, muitas crianças, por exemplo, acima de 8 anos de idade, perdem a motivação e consideram as sessões como trabalho, não para brincar. As crianças nessa idade geralmente deixam os centros de terapia para ingressar na educação convencional, correndo o risco de regressão. Os terapeutas estimam que 20% dessas crianças retornam ao centro de terapia para treinamento após um ou dois anos; desta vez, eles são motivados novamente porque desejam ser tão independentes quanto as outras crianças;
- d) **falta de reforço longe do centro de terapia:** os terapeutas não podem forçar e têm poucos meios para estimular as crianças a usar as mãos e os braços afetados fora do centro de terapia, portanto, o tempo total gasto no exercício é muito limitado; e
- e) **treinamento personalizado:** as crianças não treinam em grupos, portanto perdem as chances de interação social e a motivação e o reforço associados à interação social não podem ser utilizados.

#### 2.2.2.5 Transtorno do espectro autista

Para o atendimento educacional especializado para um estudante com transtorno do espectro autista (TEA) é necessário adequar o currículo escolar a partir do estilo cognitivo individual, levando em conta a estimulação das funções neuropsicológicas necessárias ao aprendizado eficiente. A adequação curricular envolve a forma como o conteúdo é apresentado ao estudante com TEA, e as adaptações no currículo envolvem materiais adaptados, jogos pedagógicos, uso de imagens, fotos, esquemas, signos visuais e ajustes no material didático. É importante permitir o acesso e o uso de materiais e móveis adaptados visando à organização sensorio-motora e adequação postural do estudante com TEA. É necessário identificar intolerância aos estímulos auditivos, bem como o tempo de tolerância durante o aprendizado em sala de aula. É importante organizar um sistema de registro individual de desempenho e

comportamento para acompanhar o desenvolvimento de cada estudante com TEA, de acordo com os objetivos e que seja sistematizado para fins estatísticos e levem à reprogramação e avaliação. Pessoas com TEA frequentemente apresentam um exagerado apego às rotinas.

Assim, deve-se facilitar a previsibilidade das rotinas usando recursos que demonstrem a sequência das atividades, indicando o que vai acontecer e em quais momentos. É importante desenvolver uma programação que promova eventos com narrativas previsíveis, evitando surpresas, mantendo uma estrutura e uma rotina. É necessário comunicar cuidadosamente as instruções e as consequências, com explicações diretas e consistentes, sem gírias ou metáforas, evitando usar somente pistas não verbais. É fundamental estimular a participação positiva, apresentando feedback sobre a adequação das reações e criar tarefas que a pessoa possa realizar, traduzindo o tempo em algo tangível ou visível. As comunicações verbais precisam ser enriquecidas com ilustrações e figuras, usando exemplos concretos.

As crianças com TEA podem usar os apoios de alta tecnologia para (SMITH, 2008):

- a) **apoios visuais:** para simplificar e estruturar o ambiente com diferentes propostas, como por exemplo, com objetos concretos, fotografias, desenhos ou palavras podem criar uma programação e um caminho para a criança realizar uma tarefa;
- b) **comunicação alternativa e ampliada:** o uso de comunicação aumentativa e alternativa (CAA) podem melhorar a linguagem e a comunicação.

Os sistemas de CAA são dispositivos e estratégias de auxílio para ajudar indivíduos com dificuldades de comunicação, que podem incluir linguagem de sinais, cartões com imagens de baixa tecnologia, onde o usuário troca uma imagem para se comunicar ou um computador ou dispositivo eletrônico que reproduz uma mensagem pré-gravada quando ativado. Símbolos visuais, como fotografias e desenhos, foram utilizados com sucesso para comunicação com crianças com TEA, como o sistema de comunicação de troca de imagem – PECS (BONDY, FROST, 1994). Um sistema CAA pode ser usado para apoiar o processo de desenvolvimento da oralidade com vistas à inclusão escolar, qualificando não só o conhecimento sobre os sujeitos, mas também das práticas mediadas pela tecnologia assistiva que poderão apoiar os processos escolares.

Ao preparar material educacional, é importante ter em mente que as crianças com TEA não se comunicam com os outros de maneira comum. Aproximadamente 50% das crianças com autismo são não-verbais. Das que são verbais boa parte delas utilizam meramente repetições do que acabaram de ouvir ou demoram a entender ou formar categorias semânticas e praticamente todas têm problemas com a linguagem e a comunicação. As crianças com TEA também têm problemas com as interações sociais, parecendo viverem em um mundo próprio e evitarem a



companhia de outras crianças ou de adultos. Também apresentam comportamentos repetitivos e estereotipados, interesses incomuns ou reações estranhas ao ambiente. Quase 70% das crianças com TEA apresentam déficit cognitivo, o que fez surgir os termos: autismo de baixo funcionamento, para estas crianças com autismo e déficit cognitivo, e autismo de alto funcionamento, para crianças com autismo que não apresentam déficit cognitivo ou de comunicação. Há ainda os autistas com altas habilidades em assuntos específicos (cerca de 5% dos casos de autismo), como matemática, arte ou música, embora apresentem dificuldades em outras áreas e em relações sociais.

O TEA apresenta sintomas que afetam normalmente as áreas de comunicação, interação social e repertório restrito de comportamentos e interesses. Elas podem ser sensíveis a um estímulo sensorial, como luz, cor, barulho ou um leve toque. Os sintomas e características mais comuns entre as crianças com TEA são (SMITH, 2008):

- cerca de 75 a 80% também apresentam déficit cognitivo;
- cerca de 50% nunca desenvolvem a fala funcional;
- cerca de 40% apresentam um comportamento auto-agressivo;

As habilidades de comunicação de crianças com TEA variam amplamente em todo o espectro do autismo. No extremo do espectro, as crianças são não verbais e não desenvolvem fala suficiente para atender às suas necessidades de comunicação. No final de alto funcionamento, as crianças desenvolvem a fala, mas apresentam prejuízos pragmáticos e dificuldades na compreensão de metáforas e piadas. Entre esses extremos, as crianças apresentam ecolalia e repetem enunciados que não são relevantes para o contexto comunicativo (SAMPATH, AGARWAL, *et al.*, 2013).

Para que haja uma inclusão desses estudantes com necessidades educacionais especiais nas classes comuns, é necessário que os educadores utilizem diferentes metodologias e recursos para compensar e superar as barreiras de acordo com a deficiência de cada um, tendo sempre em mente os princípios da acessibilidade, do design universal e das tecnologias assistivas.

### 2.3 QUESTÕES DE DESIGN

Os recursos de acessibilidade capazes de reduzir ou eliminar barreiras no ambiente não beneficiam somente as pessoas com deficiência, mas podem ser úteis a todas as pessoas (DIVERSA, [S.d.]). O movimento que busca eliminar as barreiras arquitetônicas através dos códigos e regulamentos de construção, definindo padrões para acomodar pessoas com

deficiência no ambiente é um movimento que predominantemente foca na deficiência e é conhecido por **design sem barreiras** (NULL, 2014). Esse movimento de mudança nas políticas públicas e práticas de design teve início nos anos 50, nos EUA, devido a um número de pessoas retornando ao país com ferimentos após a Guerra do Vietnã. Com isso, várias instituições trabalharam para definir padrões nacionais para edifícios “sem barreiras”, para serem acessíveis aos soldados com deficiências e também para outras pessoas com condições semelhantes. O objetivo era oferecer oportunidades de educação e emprego, como alternativa aos cuidados de saúde institucionalizados. Em 1961, o American National Standard Institute – ANSI publicou sua primeira versão da norma que tornava edifícios acessíveis e utilizáveis por pessoas com deficiência. Isso impulsionou o desenvolvimento de tecnologias assistivas com o objetivo de aumentar a possibilidade de pessoas com deficiência participarem da vida cotidiana (PERSSON, ÅHMAN, *et al.*, 2014).

O aprimoramento e evolução das necessidades e concepções fez surgir o **design para todos** (*design for all*), cujo principal objetivo era que os produtos fossem projetados para uma base de clientes abrangente e que um produto fosse fabricado para ser utilizado pela maior variedade possível de pessoas. No entanto, isso não significa que exista uma solução única que atenda a todos. Design para todos é design para diversidade humana, inclusão social e igualdade, permitindo que todas as pessoas tenham oportunidades iguais de participar em todos os aspectos da sociedade. Para isso, o ambiente construído, objetos cotidianos, serviços, cultura e informação e tudo o que é projetado e fabricado por pessoas para serem usadas por pessoas precisam ser acessíveis e convenientes para que todos na sociedade. A prática do design para todos faz uso consciente da análise das necessidades e aspirações humanas e requer o envolvimento dos usuários finais em todas as etapas do processo de design (PERSSON, ÅHMAN, *et al.*, 2014).

Quando o foco não é especificamente as pessoas com deficiência, mas todas as pessoas, este conceito é conhecido como **design universal** e define que produtos, espaços, mídias, tecnologias e serviços sejam concebidos de modo a garantir sua utilização pelo maior número de pessoas possível, independentemente de suas características, buscando garantir a acessibilidade para todos. Assim, a concepção de produtos, ambientes, programas e serviços podem ser usados por todas as pessoas, sem necessidade de adaptação ou de projeto específico, incluindo os recursos de tecnologia assistiva (BRASIL, 2015).

O conceito de design universal apresenta sete princípios (NULL, 2014):

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

O design universal, ao criar ambientes e produtos utilizáveis por crianças, jovens adultos e idosos, por pessoas com e sem deficiência, possui vários recursos benéficos, pois ele é econômico, visto que ele não se concentra na criação de produtos e ambientes para uma deficiência individual. Ele vai além da especialização, não apenas utilizando produtos existentes de maneiras diferentes, mas também padronizando as coisas que podem ser benéficas para todos. O design universal também é esteticamente agradável, pois os produtos e ambientes não se destacam como diferentes ou necessários. O design universal precisa ser (NULL, 2014):

- a) **suportável:** deverá fornecer uma ajuda necessária para funcionar, e não deve, ao fornecer essa ajuda, criar qualquer ônus indevido para qualquer usuário. Como por exemplo, uma luminária de mesa, que as pessoas precisam poder ajustar-se a diferentes níveis e direções da luz para apoiar as atividades diárias.
- b) **adaptável:** o produto ou ambiente deve atender a maioria das pessoas que têm uma variedade de necessidades de ajustes, como por exemplo, numa cadeira ergonômica que pode ser ajustada em diferentes alturas e posições.
- c) **acessível:** o produto ou ambiente não deve ter barreiras, que podem ser atitudinais e físicas. Por exemplo, os passeios rebaixados no meio-fio servem para ciclistas e pais empurrando carrinhos de bebês, bem como para pessoas que usam cadeiras de rodas.
- d) **orientado para a segurança:** o design orientado para a segurança promove a saúde e o bem-estar de forma corretiva e preventiva. O uso de cores ou padrões contrastantes para marcar alterações no nível do piso ajuda a proteger contra ferimentos por tropeços. Mesas e armários com arestas arredondadas são mais seguros do que aqueles com arestas.

O design universal tem suas raízes nas abordagens de design sem barreiras e pode ser usado de forma intercambiável com o termo design para todos (STEPHANIDIS, 2001). O

conceito de design universal é mais amplo que a discussão sobre tecnologia assistiva, pois traz consigo a ideia de que todos ambientes, recursos e realidades, na sociedade em geral, precisam ser concebidos e projetados com vistas à participação, utilização e acesso de todas as pessoas. Essa concepção, portanto, transcende a ideia de projetos específicos envolvendo tecnologias assistivas, com adaptações e espaços segregados, que atendem ou suportam apenas a determinadas necessidades. Se a tecnologia assistiva é uma “ajuda técnica” para auxiliar uma pessoa com deficiência a utilizar um recurso, o desenho universal projeta o recurso para que mesmo uma pessoa com deficiência não precise de auxílio para utilizá-lo. Por exemplo, ao invés de se projetarem banheiros adaptados e especiais para pessoas com deficiência, deveriam ser projetados banheiros acessíveis a todas as pessoas, com ou sem deficiência. Do mesmo modo, 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).

Em determinadas situações, nem sempre é possível desenvolver um material educacional ou uma aplicação baseada no design universal, de modo que possa atender a todos os estudantes. Por exemplo, é difícil criar uma aplicação para mesa tangível que atenda, ao mesmo tempo, um estudante com autismo, uma pessoa com cegueira e uma pessoa com surdez. As necessidades educacionais de um podem ser conflitantes com as dos demais. Neste exemplo, se uma aplicação tiver audiodescrição e instrução em Libras, provavelmente ela não será adequada para uma pessoa com autismo, que necessita de aplicações sem elementos que dispersem sua atenção com muitos estímulos. Nestes casos, é melhor desenvolver um material educacional ou uma aplicação que atendam o maior número de pessoas possíveis ou “todos” do grupo ou turma e, se houver necessidade, seja criada uma outra versão desse recurso educacional com as funcionalidades específicas adequadas para cada necessidade.

#### 2.4 VYGOTSKY E A EDUCAÇÃO INCLUSIVA

Esta tese propõe o uso de mesa tangível como um recurso de tecnologia assistiva para ser utilizado na educação inclusiva, capaz de propiciar a compensação social da deficiência (VYGOTSKY, 2012), ao permitir que o estudante supere barreiras a partir da mediação pedagógica apoiada com tecnologia. Ela é fundamentada nos princípios da importância das relações sociais, dos signos e instrumentos e da mediação no processo de formação de conceitos e aprendizagem e na não segregação dos estudantes com necessidades educacionais especiais.

Vygotsky, em sua teoria sócio-histórica, abordou as formas como as aprendizagens ocorrem e como elas contribuem para o desenvolvimento do sujeito, através das relações sociais. Dentre os estudos sobre o conhecimento do desenvolvimento humano, ele investigou também o desenvolvimento da criança com deficiência e com necessidades educacionais especiais:

O olhar tradicional partia da ideia de que o defeito significa menos, falha, deficiência, limita e estreita o desenvolvimento da criança, o qual era caracterizado, antes de mais nada, pelo ângulo da perda dessa ou daquela função. Toda a psicologia da criança anormal foi construída, em geral, pelo método da subtração das funções perdidas em relação à psicologia da criança normal.

Para substituir essa compreensão, surge outra, que examina a dinâmica do desenvolvimento da criança com deficiência partindo da posição fundamental de que o defeito exerce uma dupla influência em seu desenvolvimento. Por um lado, ele é uma deficiência e atua diretamente como tal, produzindo falhas, obstáculos, dificuldades na adaptação da criança. Por outro lado, exatamente porque o defeito produz obstáculos e dificuldades no desenvolvimento e rompe o equilíbrio normal, ele serve de estímulo ao desenvolvimento de caminhos alternativos de adaptação, indiretos, os quais substituem ou superpõem funções que buscam compensar a deficiência e conduzir todo o sistema de equilíbrio rompido a uma nova ordem. (VYGOTSKY, 2011)

Vygotsky (2012) chama a atenção para o fato de a criança com deficiência não possuir uma estrutura de desenvolvimento e aprendizado diferente das outras crianças:

Vygotsky desenvolve essas ideias em seu trabalho “Fundamentos da Defectologia”, no qual conclui que os princípios fundamentais do desenvolvimento são os mesmos para as crianças com ou sem deficiência, mas que as limitações interpostas pela deficiência funcionam como um elemento motivador, como um estímulo, uma “supercompensação”, para a busca de caminhos alternativos na execução de atividades ou no logro de objetivos dificultados pela deficiência (GALVÃO FILHO, 2004, p. 28).

Vygotsky defende a não segregação dos estudantes com necessidades educacionais especiais, visto que as interações sociais entre grupos heterogêneos são condições fundamentais para o desenvolvimento do pensamento e da linguagem. Ele dava uma ênfase na importância da educação social da criança com deficiência e no potencial da criança para o desenvolvimento normal, afirmando que todas as deficiências corporais afetavam antes de tudo as relações sociais das crianças e não suas interações diretas com o ambiente físico (VEER, VALSINER, 1999). Ele aborda a deficiência primária, ligada à causa orgânica e a deficiência secundária, que aparece como consequência social da deficiência primária (VYGOTSKY, 2012). A deficiência primária está relacionada à condição biológica e é muito pouco modificável. Já a deficiência secundária pode ser contornada através da compensação social. Como forma de prover vias alternativas para superar as dificuldades secundárias, Vygotsky quer deixar claro que a compensação não é um processo natural, biológico e ela só é possível pelas vias sociais.

A teoria sócio-histórica de Vygotsky baseia-se na relação do indivíduo com a sociedade. No indivíduo, as características tipicamente humanas resultam da interação dialética ele o seu meio sociocultural, pois elas não estão presentes desde o seu nascimento nem são mero resultado das pressões do meio externo. Quando o homem modifica o ambiente através de seu comportamento ou para atender suas necessidades básicas, transforma-se a si mesmo, influenciando seu comportamento no futuro (REGO, 2002).

As funções psicológicas humanas se originam nas relações do indivíduo e seu contexto cultural e social, ou seja, a cultura é parte constitutiva da natureza humana, através da internalização dos modos historicamente determinados e culturalmente organizados de operar com as informações. O cérebro é entendido como um sistema aberto, cuja estrutura e modos de funcionamento são moldados ao longo da história e do desenvolvimento individual. Essa relação do homem com o mundo não é uma relação direta, mas é mediada por ferramentas auxiliares da atividade humana, através de instrumentos e signos (REGO, 2002).

As ideias básicas de Vygotsky relacionadas ao ensino consistem na zona de desenvolvimento proximal (ZDP), na internalização das funções psicológicas superiores e na mediação. A zona de desenvolvimento proximal consiste no olhar prospectivo sobre o desenvolvimento psicológico, considerando que o sujeito tem uma trajetória a ser percorrida, e nela ocorrerão transformações a partir do que o sujeito já sabe fazer com autonomia e o que ainda virá a fazer. A internalização das funções psicológicas superiores envolve o movimento dos processos de aprendizagem e de desenvolvimento, sendo que o desenvolvimento é impulsionado pela aprendizagem, ocorrendo de fora para dentro. A mediação refere-se à atuação do outro, através da mediação entre a cultura de um grupo e o indivíduo, geradora de processos interpsicológicos que serão internalizados. Essas ideias estão diretamente relacionadas ao processo de ensino e aprendizagem, de modo que o educador precisa conhecer o estudante e identificar o que ele já é capaz de fazer e o que ainda poderá fazer, pois a aprendizagem se dá através da ação mediadora do educador, de alguém do grupo, dos instrumentos utilizados ou através da reflexão sobre as aprendizagens anteriores.

A invenção e o uso de signos no campo psicológico, como meios auxiliares para solucionar um determinado problema, como lembrar, comparar coisas, relatar ou escolher, é análoga à invenção e uso de instrumentos. O **signo** age como um instrumento da atividade psicológica de maneira semelhante ao papel de um instrumento no trabalho. Alguns psicólogos usaram a palavra “instrumento” ao se referirem à função indireta de um objeto como meio para se realizar alguma atividade. A diferença principal entre signo e instrumento consiste nas

diferentes maneiras com que eles orientam o comportamento humano. A função do **instrumento** é servir como um condutor da influência humana sobre o objeto da atividade; ele é orientado externamente e leva, necessariamente, a mudanças nos objetos, constituindo um meio pelo qual a atividade humana externa é voltada para o controle e domínio da natureza. O signo, por outro lado, por ser orientado internamente, não modifica em nada objeto da operação psicológica, constituindo um meio da atividade interna dirigido para o controle do próprio indivíduo (VYGOTSKY, 2015).

O uso de meios artificiais, com a transição para a atividade mediada, altera todas as operações psicológicas, assim como o uso de instrumentos amplia de forma ilimitada a gama de atividades em cujo interior as novas funções psicológicas podem operar. Assim, o termo função psicológica superior ou comportamento superior se refere à combinação entre o instrumento e o signo na atividade psicológica. A internalização de formas culturais de comportamento envolve a reconstrução da atividade psicológica tendo como base as operações com signos.

A mediação pode ser entendida como o elo intermediário entre o sujeito e o meio através de uma intervenção. Quando essa intervenção é realizada por outro sujeito, que podem ser os adultos, educadores, colegas mais adiantados ou amigos, ela é chamada de mediação pedagógica. Quando é feita pelos signos, dentre os quais o mais importante é a linguagem, ela é chamada de mediação semiótica. Essas duas dimensões não são independentes, nem excludentes, mas são interdependentes e podem acontecer ao mesmo tempo. Uma intervenção adequada possibilita trocas do sujeito com o objeto de conhecimento para proporcionar a significação, que é a criação e uso de signos, e conseqüentemente o desenvolvimento do sujeito e o aprendizado (COSTA, 2006).

A natureza mediada das atividades humanas envolve a estrutura das operações com signos como uma característica que distingue os comportamentos elementares das funções psicológicas superiores. Para Vygotsky:

Toda forma elementar de comportamento pressupõe uma reação direta à situação-problema defrontada pelo organismo - o que pode ser representado pela fórmula simples ( $S \rightarrow R$ ). Por outro lado, a estrutura de operações com signos requer um elo intermediário entre o estímulo e a resposta. Esse elo intermediário é um estímulo de segunda ordem (signo), colocado no interior da operação, onde preenche uma função especial; ele cria uma nova relação entre S e R. O termo "colocado" indica que o indivíduo deve estar ativamente engajado no estabelecimento desse elo de ligação. Esse signo possui, também, a característica importante de ação reversa (isto é, ele age sobre o indivíduo e não sobre o ambiente) (VYGOTSKY, 2015, p. 53).

Assim, a mediação é compreendida e explicada como um esquema triádico cuja representação seria:  $(S \rightarrow X \rightarrow R)$ , onde um elemento intermediário (X) constitui o elo mediador da relação entre um estímulo (S) e uma resposta (R). Esse esquema relaciona um sujeito da aprendizagem (estudante, aprendiz), o objeto do conhecimento (os conteúdos e conhecimentos específicos) e um sujeito ou instrumento mediador. As funções do mediador podem ser desempenhadas por um educador, por alguém que desempenhe um papel equivalente ou por uma ferramenta cultural. Nesse esquema, a construção do conhecimento não se dá apenas como resultado de um estímulo-resposta, mas por um ato complexo, mediado por um estímulo auxiliar, que são os instrumentos. A mediação é o processo de intervenção de um elemento intermediário numa relação e essa, então, deixa de ser direta e passa a ser mediada por esse elemento (VYGOTSKY, 2015).

Um sujeito elabora seus conhecimentos sobre os objetos a partir das relações sociais e por condições culturais, sociais e históricas e na interação com outros sujeitos. É deste modo que as formas de pensar são construídas, por meio da apropriação do saber da comunidade em que se está inserido. Para isso, são utilizados os elementos de mediação, que são os signos e os instrumentos, que também auxiliam nas ações concretas e nos processos psicológicos de aprendizagem. As formas de mediação permitem ao sujeito realizar operações cada vez mais complexas sobre os objetos (VYGOTSKY, 2015).

A transformação qualitativa proporcionada pela mediação, com a inclusão de ferramentas e signos na ação humana, não leva simplesmente a melhorias quantitativas em termos de velocidade ou eficiência, mas a uma significativa transformação qualitativa (WERTSCH, 2007). Como toda ação humana supõe uma mediação, a aprendizagem se faz com a mediação semiótica ou pela interação com o outro, na interação social, na qual as palavras são empregadas como meio de comunicação ou de interação (MARTINS, MOSER, 2012).

Toda atividade pedagógica mediada precisa ser desenvolvida a partir da interação com objetos e fenômenos que envolvem três níveis diferenciados de generalização: o perceptivo, o representacional e o conceitual. O perceptivo é o nível inicial e fundamental para o processo de formação de conceitos, uma vez que é a partir da capacidade de “observar” objetos e fenômenos que produzimos as representações visuais, auditivas e táteis-motoras que levam ao nível representacional. É por meio de processos de análise-síntese e síntese-análise, que o conceito surge. Sua aquisição se concretiza pelo uso do símbolo em ações de mediação por meio das quais os participantes interagem e constroem o significado de forma intersubjetiva. Essas ações é que darão um sentido para essa formação de conceitos, através da participação ativa dos



agentes e suas tecnologias e seus instrumentos (DAVIDOV, 1988), no qual a formação de conceitos não é um processo reprodutivo, apenas de imitação, mas sim um processo produtivo (VYGOTSKY, 2001).

Os estudantes se envolvem numa aprendizagem significativa e solucionam problemas quando trabalham com problemas autênticos, desde que esses problemas levem à aprendizagem teórica. Os conceitos científicos e cotidianos são parte necessária do desenvolvimento. A integração de conhecimento disciplinar e conhecimento cotidiano é importante para o desenvolvimento conceitual das crianças e se desenvolve para níveis mais complexos. Se as escolas são lugares onde as crianças são introduzidas na participação em práticas socioculturais, essa introdução é favorecida quando a prática virtual retém as características essenciais da prática real e a motivação para o envolvimento no trabalho da construção dos conceitos. Nesse contexto, o educador hábil explora as perspectivas e compreensões dos estudantes, de acordo com suas compreensões prévias, com as ideias e conceitos que ele procura promover em sala de aula (DANIELS, 2003). Os meios de auxiliar a performance e facilitar a aprendizagem são, segundo Tharp:

1. **Modelação:** oferecer comportamento para imitação. Ela auxilia ao dar informação para o aprendiz e uma imagem lembrada que podem servir como um padrão de performance.
2. **Feedback:** o processo de fornecer informação sobre uma performance, que é comparada com um padrão. O feedback é essencial para auxiliar a performance, porque lhe permite ser comparada com o padrão, possibilitando assim a autocorreção. O feedback auxilia a performance em toda esfera, do tênis à física nuclear. Garantir feedback é a forma mais comum e eficaz de autoassistência.
3. **Administração da dependência:** aplicação dos princípios de reforço e punição ao comportamento.
4. **Instrução:** pedir uma ação específica. Isso ajuda ao selecionar a resposta correta e proporcionar clareza, informação e tomada de decisão. É mais útil quando o aluno pode executar alguns segmentos da tarefa, mas ainda não pode analisar a performance inteira ou fazer julgamentos sobre os elementos a escolher.
5. **Questionamento:** uma solicitação de uma resposta verbal que ajuda ao produzir uma operação mental que o aluno não poderia produzir ou produziria sozinho. Essa interação também ajuda ao dar ao auxiliador a informação sobre a compreensão em desenvolvimento do aluno.
6. **Estrutura cognitiva:** “explanações”. A estruturação cognitiva auxilia ao fornecer estrutura explanatória e de crença, que organizam e justificam nova aprendizagem e novas percepções, e permitem a criação de esquemas novos ou modificados.
7. **Estruturação da tarefa:** amontoar, segregar, sequenciar, ou estruturar de algum ou outro modo uma tarefa em, ou a partir de componentes. Isso auxilia os alunos, ao modificar a própria tarefa, de modo que as unidades apresentadas ao aluno se encaixam na ZDP quando a estrutura inteira desestruturada está além dessa zona. (THARP, 1993, pp. 271-272)

É sabido que a educação escolarizada tem se utilizado indistintamente de materiais visuais como forma de comunicação entre os conteúdos escolares e os recursos didáticos utilizados em sala. Isso nos leva a refletir sobre a elaboração de diferentes estratégias

pedagógicas e suas implicações no contexto em que elas são empregadas. Nessa perspectiva, a educação e a escola começam a organizar-se de forma diferente, para atender à diversidade humana. Essa reorganização pressupõe ações e mudanças em diferentes âmbitos, sendo especialmente necessário organizar e disponibilizar diferentes estratégias pedagógicas e também diferentes tecnologias educacionais em função das demandas e necessidades de cada estudante, todos diferentes entre si, para que, aplicadas segundo as necessidades específicas de cada um, possam dar conta das necessidades cognitivas de todos os alunos, com ou sem deficiência (GALVÃO FILHO, 2016).

Dessa forma, a escola inclusiva tem como ponto de partida a percepção da diversidade humana, presente em todas as salas de aula e precisa ser valorizada e atendida. A partir dessa percepção, as soluções e abordagens particulares estão relacionadas com as estratégias pedagógicas construídas e desenvolvidas pelos educadores, que necessitam de auxílios das tecnologias educacionais e ser tão variadas, particulares e diferenciadas forem as necessidades e as realidades desses estudantes. Essas diferentes estratégias pedagógicas são os instrumentos específicos da atuação profissional dos educadores e são as “ferramentas de trabalho” do educador, juntamente com a tecnologia educacional. Nesse contexto, os estudantes não são divididos entre os “com” e os “sem” deficiência, mas todos percebidos, desde o início de qualquer processo, como diferentes entre si, com necessidades educacionais específicas em função justamente dessa diversidade humana (GALVÃO FILHO, 2016).

A importância da interação, da mediação e da utilização de instrumentos de mediação são centrais na teoria sócio-histórica de Vygotsky, mas não exclusiva dela, estando presentes, no todo ou em parte, em várias outras correntes e teorias educacionais que sucederam a Vygotsky. Neste sentido, os conceitos abordados neste trabalho buscam definir os princípios norteadores desta proposta, centrados nos conceitos de interação, mediação e instrumento de mediação tecnológica de acordo com as definições de Vygotsky, mas que podem ser aplicados em outras abordagens interacionistas e nas que envolvem diversas modalidades no processo de aprendizagem.

## 2.5 MEDIAÇÃO TECNOLÓGICA

A tecnologia digital e a tecnologia da informação e comunicação (TIC) estão fortemente disseminadas no nosso cotidiano e é inquestionável o seu uso e benefícios na educação, de modo que já há um entrelaçamento das pessoas com as TIC em boa parte das ações

desenvolvidas. Warschauer (2006) afirma que não existe uma tecnologia externa que é introduzida numa sociedade, pois ela encontra-se entrelaçada de maneira complexa nos sistemas e processos sociais. De forma direta ou indireta a tecnologia está entrando nos espaços educativos, através da instalação de computadores nas escolas, da democratização do acesso à Internet e da popularização dos dispositivos móveis.

Ainda que alguns estudos mostrem que o uso das TIC não necessariamente melhora o rendimento educacional, seu uso e domínio são considerados indispensáveis para a inserção laboral e profissional dos futuros cidadãos, pois as TICs são indispensáveis para os jovens lidarem com as novas formas de produtividade. Assim, a questão não é se devemos usar ou não a tecnologia na educação, mas analisar como fazer melhor o seu uso num mundo globalizado e diversificado para o desenvolvimento sociocognitivo dos alunos (PASSERINO, Liliana, 2010).

Há um viés social presente na tecnologia: sua origem e necessidade. Num sentido genérico, o termo tecnologia refere-se ao uso e conhecimento de ferramentas, técnicas, métodos e sistemas de organização ou de produção de objetos. A humanidade desenvolve tecnologia, constituindo um grupo social com interesses em comum (comunidade) e que utilizam algum mecanismo para transmissão de conhecimentos (educação). As TICs talvez sejam, das tecnologias modernas, as que mais apresentam explicitamente esta característica de sociabilidade, comunidade e educação. As TICs, por serem ferramentas mentais que agem mais sobre os próprios sujeitos do que sobre objetos, tornam-se signos no sentido vygotkiano do termo (PASSERINO, 2010).

Os signos, também chamados de Instrumentos psicológicos, são indispensáveis para a ação humana (educativa ou de outro tipo) (WERSCHT, 1999). Os signos permitem projetar-nos no tempo e no espaço, criar representações mentais simultâneas do mesmo fenômeno e compartilhar tudo isso socialmente. Esta capacidade dos signos deriva-se deles serem **intersubjetivos**, ou seja, socialmente compartilhados, incorporando as várias formas de interpretar intersubjetivamente o mundo que se acumularam numa cultura ao longo da sua história e **perspectivos** porque sua aprendizagem é feita sempre a partir da perspectiva do outro (TOMASELLO, 2003). Assim, as tecnologias seriam signos na medida que permitem estruturar e organizar a ação humana; constituindo-se ao mesmo tempo, produtos e produtores da cultura numa dialética entre pessoas, sociedade, tecnologia e cultura que não pode ser simplificada ou reduzida a uma única questão, por exemplo, se devemos ou não inserir tecnologias na escola ou se sua inserção tem impacto no processo de aprendizagem humano.

[...]

Somos seres tecnológicos, usamos nosso conhecimento de forma a encontrar novas formas de produzir bens e serviços mais rápido e economicamente viável. Fazemos isso criando tecnologias que nos auxiliam nesse sentido. Por outro lado, as tecnologias permitem apropriar-nos de forma diferente dos conhecimentos, numa relação dinâmica entre conhecimento, sociedade e tecnologia. As tecnologias nos permitem, assim, visualizar, conhecer e experimentar fenômenos de formas diferentes apresentando o conhecimento desde perspectivas diferenciadas (PASSERINO, 2010, p. 64–65).

Os ambientes digitais permitem modelar níveis de complexidade controláveis ajustados ao uso e às necessidades de cada sujeito, e são suficientemente complexos, exigindo de seus usuários níveis de abstração diferenciados, levando-os a criar modelos mentais. O uso do computador e de ambientes digitais de aprendizagem, acompanhados de estratégias de mediação adequadas e adaptados aos sujeitos, são relevantes e importantes no desenvolvimento cognitivo e na promoção da interação social de crianças com autismo. A inclusão de sujeitos com autismo em classes regulares seria possível focando na interação social do sujeito e no uso das TICs como ferramentas de mediação, já que elas mostram-se eficientes no apoio ao processo de autocontrole dos sujeitos (PASSERINO, Liliana, SANTAROSA, 2006).

Na mediação pedagógica, o educador, os pares mais competentes, os recursos metodológicos e os materiais utilizados são usados como suporte para a evolução e aparecimento de construtos cognitivos, que levam à aprendizagem. Assim, é interessante considerar a importância dos recursos oferecidos pelo desenvolvimento tecnológico, como o uso de computador e outros recursos multimídia, na educação dos sujeitos com necessidades educacionais especiais (COSTA, 2006).

No processo de ensino e aprendizagem, no qual o estudante é um agente ativo, que constrói e reconstrói seu conhecimento na interação entre sujeito e objeto e o ambiente, a utilização de um ambiente computacional para apoiar as atividades de ensino torna-se uma ferramenta que pode potencializar a interação entre o sujeito e o objeto, dependendo da forma como o meio tecnológico é introduzido. Esses ambientes construídos sob esta concepção são conhecidos como ambientes de aprendizagem, onde o processo de aprendizagem passa pela construção do conhecimento pelo sujeito através da interação com o objeto (PASSERINO, SANTAROSA, 2000).

Existe uma grande variedade de ambientes e softwares educacionais, sendo que o modo como são usados na sala de aula é que determinam se eles serão efetivos ou não. Os resultados da aprendizagem dependem de como o educador explora o ambiente para levar estudantes específicos a atingir objetivos específicos. Uma tecnologia por si só não transforma os estudantes em produtores de conhecimento inteligentes e motivados, pois requer contextualização, estabelecimento de objetivos pedagógicos e adequação aos processos mais amplos de aprendizado. Portanto, os principais recursos de uma tecnologia incluem a forma como os educadores podem se apropriar, como ela pode ajudar a envolver os estudantes, como o ambiente pode ser moldado para seus objetivos e quão compatível é com as restrições práticas em um ambiente de aprendizado (DILLENBOURG, EVANS, 2011).

As tecnologias de suporte precisam ser planejadas, estruturadas e organizadas do ponto de vista da compensação social para serem instrumentais e simbólicas nos processos de mediação para pessoas com diversidade funcional. A tecnologia é um instrumento e signo de mediação, desde que promova os processos de adaptação e adequação aos contextos sociais, em especial a escola, para que o estudante possa se apropriar, baseado na participação e interação social e nos significados, e aprender os conceitos propostos no universo educacional. Nesse contexto, as tecnologias de suporte são concebidas como instrumentos culturais de adaptação dos sistemas sociais e não dos indivíduos, afetando fundamentalmente os contextos sociais e a qualidade das atividades culturais das quais participam pessoas com diversidade funcional. A tecnologia não pode ser considerada a solução para os problemas de aprendizagem, pois seu escopo será proporcional à qualidade das mediações planejadas, mas ela terá um aspecto social, desde que proporcione condições para participação, construção de significados e criação de interações ricas e diversificadas (PASSERINO, COMA, *et al.*, 2018).

A grande maioria das pessoas com TEA têm afinidade com a tecnologia, pois seu comportamento é previsível, governado por regras, que podem ser complexas, mas estáveis, além da tecnologia oferecer uma tolerância à repetição. Assim, as tecnologias digitais podem envolver essas pessoas e oferecer intervenção terapêutica ou apoiá-las nos problemas do dia a dia (FRAUENBERGER, 2015).

Os ambientes de aprendizagem precisam fornecer vínculos entre atividade física e cognição, incorporando diferentes áreas sensoriais, fornecendo instrução e aprendizado individualizados (STARCIC, ZAJC, 2011). O uso combinado de artefatos físicos e ação física significa que as próprias crianças se tornam uma parte central da atividade com imersão e envolvimento, ao invés de apenas observar algo evoluir, como nos jogos de computador. O uso de objetos tangíveis aumenta a propensão das crianças a explorar e se maravilhar, por meio do fornecimento de eventos inesperados, levando-as a descobrir novas ou outras maneiras de alcançar seus objetivos, promovendo a reflexão sobre o que está acontecendo, sobre suas próprias ações e efeitos (PRICE, S, ROGERS, *et al.*, 2003).

O uso de tecnologias tangíveis abre novas possibilidades de aprimorar o ensino e o aprendizado com a tecnologia. O ponto não é a sofisticação das tecnologias, mas as formas inovadoras de interatividade que elas permitem e as novas possibilidades de aprendizado que elas proporcionam (O'MALLEY, FRASER, 2004). Os tangíveis têm o potencial de fornecer maneiras inovadoras para as crianças brincarem e aprenderem, através de novas formas de interação e descoberta e a capacidade de trazer de volta a brincadeira à aprendizagem.

Em relação às interações tangíveis, há três estratégias para a produção de artefatos educativos combinando materiais físicos e computacionais que podem ser utilizados no processo de mediação tecnológica (EISENBERG, EISENBERG, *et al.*, 2003):

- a) desenvolver aplicações de software que enriqueçam o uso de materiais tangíveis pelas crianças, explorando a capacidade de impressão, por exemplo;
- b) embutir capacidades computacionais em objetos físicos, que passarão a ser dinâmicos, podendo se comunicar com outros;
- c) explorar e usar uma grande variedade de materiais com vários níveis de adaptabilidade, expressividade, interesse educacional e integração com técnicas computacionais.

Assim, as interações tangíveis, com a possibilidade de manipulação dos objetos reais para a interação com os sistemas computacionais passam a ser um importante aliado dos educadores e um recurso tecnológico adicional e diferenciado para a mediação, capazes de proporcionar uma educação ampla e acessível, permitindo a superação das barreiras pelos estudantes com algum tipo de deficiência. Dentre os recursos tecnológicos, as mesas tangíveis, que utilizam objetos físicos para realizar a interação com o ambiente computacional, pelas suas características essencialmente interacionistas, podem ser um instrumento de mediação tecnológica viável, acessível e útil, para ser utilizado na educação inclusiva como uma tecnologia assistiva para estudantes com deficiência e como um recurso tecnológico interativo para todos.

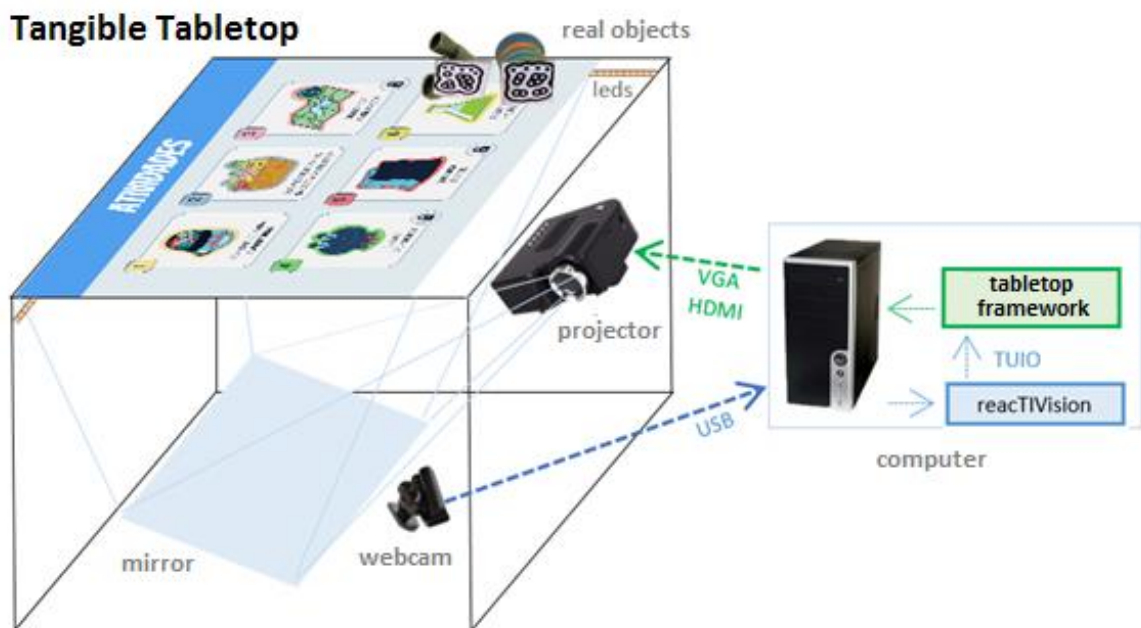
As questões legais garantem o direito ao acesso ao ensino a todas as pessoas, em igualdade de condições, sem barreiras e incumbe às escolas e aos educadores a responsabilidade por adaptar os espaços físicos e elaborar estratégias, técnicas e metodologias capazes de atender às necessidades educacionais especiais de estudantes com alguma deficiência física ou intelectual, de modo integrado ao ensino regular com os demais alunos. De acordo com Vygotsky, a criança com deficiência necessita das interações sociais e de estímulo para o desenvolvimento de caminhos alternativos de adaptação, para compensar a deficiência. Neste processo, a mediação é um fator primordial para a aprendizagem e o uso de recursos tecnológicos pode torná-la mais enriquecedora, atrativa, significativa e interativa. Dentre os recursos tecnológicos, as interfaces e mesas tangíveis se apresentam como um instrumento de mediação e um inovador e importante aliado no processo educacional.

### 3 MESA TANGÍVEL

Esta tese propõe a utilização de uma mesa tangível de baixo custo na educação inclusiva. Uma mesa tangível é uma interface computacional com uma superfície horizontal na qual a saída do computador é exibida ou projetada e sobre a qual objetos físicos podem ser posicionados e movidos para executar as interações, atuando como controle. Para que os objetos sejam devidamente identificados e seus posicionamentos e movimentações possam ser captados, marcadores fiduciais podem ser fixados neles. Diferentemente de um tablet ou smartphone, ao invés de simplesmente tocar ou clicar numa determinada área, é a colocação ou movimentação de um objeto específico sobre sua superfície que proporciona a interação, embora os toques dos dedos na superfície também possam ser utilizados para a interação.

A mesa tangível pode ser um produto comercial ou pode ser desenvolvida a partir de produtos convencionais. Uma alternativa para desenvolver uma mesa tangível é com a construção de uma mesa de madeira com tampo de acrílico, na qual a imagem pode ser projetada na sua superfície com um projetor convencional, com o uso de um espelho e um software de visão computacional faz o rastreamento e identificação dos objetos e seus posicionamentos a partir das imagens de uma câmera (*webcam*) (fig. 1). Neste caso, uma iluminação infravermelha pode ser necessária para que a imagem projetada não interfira na imagem captada pela câmera.

Figura 1 – Mesa Tangível



Fonte: (PREUSS, E., PASSERINO, *et al.*, 2019)

Uma mesa tangível pode ser utilizada em tarefas cognitivas que envolvem representações visuais, sonoras, táteis e simbólicas de objetos. Podem ser usadas para executar e apresentar atividades pedagógicas envolvendo a interação com objetos tangíveis em sua superfície para a formação de conceitos científicos, para realizar experimentações, apresentar narrativas e resolver desafios e jogos.

Uma mesa tangível é uma interface interativa tangível (TUI - *Tangible User Interface*) (ULLMER, B., ISHII, 2000), normalmente grande o suficiente para permitir que vários usuários interajam simultaneamente. As entradas dos usuários podem ser capturadas através de uma ampla variedade de técnicas, como telas capacitivas, câmeras que capturam marcadores físicos, pontos de contato, Bluetooth, RFID, dentre outros. A saída do sistema é exibida na superfície da mesa por telas de LCD ou projetores multimídia posicionados abaixo ou acima da superfície. As formas de interação nesse tipo de mesa são (DILLENBOURG, EVANS, 2011):

- a) **interfaces de toque:** a posição dos dedos é detectada como um ponto de contato entre as camadas de condutividade ou capacitância, por uma câmera infravermelha colocada abaixo da superfície e detectando pontos de calor ou visão computacional ou por uma câmera colocada acima com métodos de visão computacional para reconhecimento dos dedos. Embora seja semelhante a um clique do mouse, há diferenças, pois, os dedos são usados para selecionar, girar, mover e redimensionar objetos digitais exibidos na mesa. Essas interfaces são chamadas de "multitoque", pois suportam a detecção síncrona de vários pontos.
- b) **objetos tangíveis:** a posição dos objetos tangíveis na superfície é detectada por uma câmera posicionada acima ou abaixo da superfície, reconhecendo os objetos como tais, usando "marcadores fiduciais" que são imagens de referência coladas nos objetos ou detectando etiquetas de radiofrequência (RFID) incorporadas aos objetos. Como os objetos estão no mesmo plano horizontal, o sistema lê seu identificador, posição e orientação.
- c) **caneta eletrônica:** canetas (ou pontas) são instâncias específicas de objetos tangíveis, permitindo as manipulações necessárias para escrever ou desenhar sobre a mesa. A posição da caneta é reconhecida por sinais de rádio, por luz infravermelha ou por uma câmera embutida na caneta que reconhece uma textura específica.
- d) **interfaces de papel:** as folhas de papel colocadas na superfície constituem outra categoria de objeto tangível com propriedades diferentes, que não são apenas movidos e girados, mas também dobrados e anotados.



- e) **interfaces gestuais:** ao contrário das interfaces de toque, as interfaces gestuais não requerem, necessariamente, interação direta ou contato com a mesa, mas usam câmeras que fazem o rastreamento dos movimentos das mãos para gestos, incluindo ordenar, coletar, arrastar e soltar e delegar.
- f) **teclado e mouse:** embora menos usual, um teclado e mouse ainda podem ser úteis para aplicações que envolvam digitações e dados complementares, bem como escolhas que exigem precisão nos cliques e escolhas.

As TUIs podem ser chamadas de interfaces “palpáveis”, “agarráveis” ou ainda “manipuláveis” (FISHKIN, 2004), pois utilizam objetos e superfícies que necessitam do contato físico e manipulação para sua representação digital realizar determinada função no conceito virtual. Elas dão forma física às informações digitais, empregando artefatos físicos como representações e controles para mídias computacionais, acoplando representações físicas, como por exemplo, objetos físicos manipuláveis espacialmente com representações digitais, como gráficos e áudio, produzindo sistemas interativos mediados computacionalmente (ULLMER, ISHII, 2000).

As TUI são interfaces de usuário que empregam objetos físicos, instrumentos, superfícies e espaços como interfaces físicas para informações digitais. Ao passo que as interfaces gráficas do usuário (GUI - *Graphical User Interface*) utilizam metáforas da área de trabalho, como ícones, janelas, menus, metáforas de controles do mundo real, e apontadores, as TUI utilizam ícones físicos e objetos reais com níveis variados de abstração representacional, com controles como escalas e barras de rolagem que permitem movimentação e rotação (ULLMER, ISHII, 1997). As interações nas interfaces naturais do usuário (NUI – *Natural User Interface*) permitem apenas a interação com os componentes da aplicação usando toques de dedo na tela, em substituição ao mouse. As GUI normalmente utilizam periféricos como teclado e mouse para mediar as interações com a interface, enquanto as interfaces naturais (como as *touchscreen*) permitem a interação direta do usuário com a interface e os conteúdos, de modo que não se percebe a tecnologia. Assim, as TUI complementam as GUI e as NUI, incluindo a riqueza do ambiente físico e fornecendo novas oportunidades para interação entre humanos e computadores em domínios pouco suportados pelas interfaces convencionais.

As metáforas são amplamente reconhecidas como um ingrediente poderoso no pensamento e no design e são particularmente apropriadas para as TUIs, em oposição a outras interfaces, devido à sua tangibilidade física, já que as partes de uma interface são tornadas fisicamente tangíveis e um domínio de metáforas oferecidas fisicamente se torna disponível.

Um designer pode usar a forma, o tamanho, a cor, o peso e a textura do objeto para invocar metáforas nas TUIs, fazendo com que o efeito do sistema de uma ação do usuário seja análogo ao efeito do mundo real de ações semelhantes (FISHKIN, 2004).

Uma ação de TUI é caracterizada por (FISHKIN, 2004):

- a) algum evento de entrada ocorre, normalmente através de uma manipulação física realizada por um usuário com as mãos em algum objeto físico diário – como inclinar, agitar, apertar, empurrar ou, na maioria das vezes, movendo-o ou colocando-o na superfície da interface tangível;
- b) um sistema de computador detecta esse evento de entrada e altera seu estado; e
- c) o sistema fornece um feedback. Esse evento de saída ocorre através de uma alteração na natureza física de algum objeto, alterando sua superfície de exibição – cresce, diminui, produz um som, fornece feedback tátil ou apresenta uma outra cena.

Uma das vantagens da utilização de interfaces tangíveis é que elas proporcionam um manuseio fácil e intuitivo, que não requer conhecimentos prévios ou específicos sobre seu funcionamento e interação. Além disso, elas permitem interação sonora, visual e tátil e envolvem metáforas, com representações visuais e simbólicas de outros objetos. As mesas tangíveis, como interfaces interativas tangíveis, revelam-se interessantes recursos de tecnologias assistivas, permitindo desenvolver também a coordenação motora fina (SITDHISANGUAN, CHOTIKAKAMTHORN, *et al.*, 2012), além de resolução de atividades educacionais e jogos, com um incremento no engajamento e motivação dos alunos e aprendizagem por exploração (XIE, ANTLE, *et al.*, 2008).

Como as mesas são ambientes típicos de socialização, as experiências de implementação das aplicações com mesa tangível são baseadas em interações com vários usuários, com manipulações com as mãos e dedos e projeções virtuais dos objetos e cenários, onde os objetos podem ser posicionados e arrastados sobre a mesa até atingir o objetivo da aplicação. A mesa tangível permite mostrar imagens na superfície e interagir com a manipulações de objetos reais colocados sobre ela, identificados através de suas formas ou com marcadores fiduciais fixados em sua parte inferior.

As TUIs envolvem um conjunto de conceitos (HORNECKER, BUUR, 2006):

- a) **Manipulação tangível:** refere-se às representações materiais com qualidades táteis distintas, que normalmente são manipuladas fisicamente na interação tangível. Manipulação tangível é a interação corporal com objetos físicos, que são acoplados a recursos computacionais, permitindo ao usuário controlar a computação. Envolve

a manipulação direta de objetos materiais que representam os objetos de interesse, ao contrário de um mouse que atua como intermediário genérico e transitório. Esses objetos são simultaneamente interface, objeto de interação e dispositivo de interação. Objetos tangíveis convidam a interagir, apelando ao senso de toque e proporcionando prazer sensorial e diversão.

- b) **Interação espacial:** refere-se ao fato de que a interação tangível é incorporada no espaço real e, portanto, a interação ocorre pelo movimento no espaço. A espacialidade é uma propriedade inerente às interfaces tangíveis, que estão incorporados no espaço, ocupam espaço real, estão situados em lugares e os usuários precisam se mover no espaço real ao interagir.
- c) **Facilitação incorporada:** destaca como a configuração de objetos e espaço materiais afeta e direciona o comportamento emergente do grupo. Com a interação tangível, literalmente nos movemos no espaço físico e metaforicamente no espaço do software. As opções para acessar e manipular os objetos relevantes fornecem pontos de acesso.
- d) **Representação expressiva:** enfoca as representações materiais e digitais empregadas pelos sistemas de interação tangíveis, sua expressividade e legibilidade. A interação tangível refere-se à representação física de funções e dados digitais ou de outros objetos físicos. As representações híbridas combinam elementos digitais e materiais, com diferentes qualidades representacionais. Os usuários percebem uma interface tangível como “não muito tangível” e os objetos tangíveis como insignificantes, se estes forem apenas de relevância temporária ou não expressivos

Há uma argumentação sobre problemas no projeto de superfícies interativas híbridas, ao colocar o físico no virtual. Quando analisada a literatura sobre interfaces tangíveis, encontram-se poucas orientações para tomar as decisões corretas sobre a escolha dos objetos e a emulação do mundo físico. Muito foi escrito sobre as vantagens das TUIs, por exemplo, mas essa análise parece retrospectiva, fornecendo pouca ou nenhuma percepção sobre o processo de design. Em geral, existem dois conjuntos importantes de decisões a serem discutidos ao projetar sistemas interativos multitoque e TUIs, ao considerar até que ponto nos baseamos no mundo físico (KIRK, SELLEN, *et al.*, 2009):

- a) **escolha de objetos:** um conjunto tem a ver com a escolha de elementos físicos ou digitais como ferramentas ou objetos que fornecem os principais recursos da interface. Isso determina as maneiras pelas quais a interação com esses elementos,

objetos físicos e digitais com recursos que restringem e possibilitam certos tipos de ação. Outras implicações são práticas, ou seja, o que é especialmente importante para sistemas projetados para serem efetivamente implantados no mundo real e não limitados a demonstrações em conferências ou em laboratórios;

- b) **emulação do mundo físico**: isso inclui a forma como os objetos digitais se comportam no ambiente digital, implicando na maneira como projetamos as interações dos usuários com esses objetos.

Um grande número de TUIs pode ser classificado como ferramentas ou ambientes de aprendizado suportados por computador, já envolvem todos os sentidos e, assim, apoiam o desenvolvimento geral da criança, enfatizando o papel da personificação, do movimento físico e da interação multimodal. Um desenvolvimento mais recente é o apoio da TUI à aprendizagem de crianças com necessidades educacionais especiais. A interação física proporciona benefícios ao exigir menos esforços, treinar habilidades motoras perceptivas, fornecer experiência sensorial, apoiar o uso colaborativo e dar mais controle à criança. No geral, uma interface tangível pode fornecer acesso a um ambiente de aprendizado rico com mais oportunidades de aprendizado cognitivo, linguístico e social do que um sistema GUI tradicional. (SHAER, HORNECKER, 2009).

Há duas opções para mesas tangíveis: adquirir um produto comercial ou construir uma mesa tangível a partir de tecnologias e materiais que podem ser encontrados em lojas especializadas. Existem pouquíssimas opções de produtos comerciais e estes apresentam um custo elevado. Para construir uma mesa tangível, não existem publicações sistematizadas com especificações dos produtos, mas há diversas publicações que propõem e avaliam determinadas técnicas que podem ser utilizadas no processo de construção e uso. A seguir são apresentadas as tecnologias para construção de mesas tangíveis, envolvendo o sistema de iluminação infravermelha e os sistemas de rastreamento de objetos e, na sequência, apresenta as principais tecnologias disponíveis para criar aplicações e as opções comerciais de mesas tangíveis.

### 3.1 TECNOLOGIAS PARA CONSTRUÇÃO DE MESAS TANGÍVEIS

A interação de mesa tangível combina técnicas e tecnologias de interação de superfícies interativas multitoque e TUIs. Há uma grande variedade de tecnologias, dispositivos e técnicas usadas para prototipar e implementar mesas tangíveis. As três tecnologias de implementação

que são frequentemente usadas no desenvolvimento de TUIs são (SHAER, HORNECKER, 2009):

- a) **Visão computacional:** no contexto das TUIs, a visão computacional é frequentemente usada para aplicações de superfície interativas e espaciais, pois é capaz de detectar a posição de vários objetos em uma superfície 2D em tempo real, fornecendo informações adicionais, como posição, orientação, cor, tamanho e forma. Utilizam algoritmos sofisticados para interpretar automaticamente uma imagem para identificar e rastrear os marcadores fiduciais especificamente definidos e anexados a objetos físicos. Os símbolos usados como marcadores fiduciais permitem distinguir identidades únicas dos objetos, bem como um cálculo preciso da posição e do ângulo de rotação em uma superfície. Como os marcadores fiduciais são reconhecidos e rastreados por um algoritmo de visão computacional otimizado para um design de marcador específico, os sistemas baseados nesses marcadores tendem a ser mais robustos, mais precisos e mais econômicos em termos computacionais do que os sistemas da variedade de inteligência artificial convencionais. Assim, a visão computacional baseada em marcadores fiduciais é frequentemente usada no desenvolvimento de TUIs e requerem pelo menos três componentes: uma câmera ou *webcam*; um projetor multimídia para fornecer gráficos em tempo real e um pacote de software para visão computacional.
- b) **RFID:** é uma tecnologia sem fio baseada em radiofrequência que permite detectar a presença e a identidade de um objeto marcado quando está dentro do alcance de um leitor de etiquetas (uma antena). A maioria das TUIs baseadas em RFID emprega etiquetas RFID de baixo custo passivas que consistem em duas partes: um leitor de etiquetas afixado a um dispositivo computacional e um conjunto de objetos marcados. A comunicação entre uma etiqueta e um leitor ocorre apenas quando ambas estão próximas. A distância real varia de acordo com o tamanho da antena e o da etiqueta RFID e a força do seu campo. Quando uma etiqueta é detectada, o leitor de etiquetas passa os caracteres de identificação para o computador. O aplicativo TUI pode interpretar a sequência de entrada do ID, determinar seu contexto de aplicação e fornecer o feedback.
- c) **Microcontroladores, sensores e atuadores:** os microcontroladores são computadores pequenos e de baixo custo, que podem ser incorporados em um objeto físico ou no ambiente físico. Os principais microcontroladores são: PIC com CPU

variando até 48Mhz e memória RAM variando de 32B a 32KB, ESP (ESP8266 e ESP32/nodeMCU) com CPU variando de 80MHz a 240MHz e memória RAM variando de 80KB a 520KB, Arduino (Nano, Uno, Mega) com CPUs variando de 8 a 84MHz e memória RAM de 32KB a 256KB e Raspberry Pi com CPUs variando de 700MHz a 1.5GHz e memória RAM de 256MB a 8GB. Os microcontroladores recebem informações do mundo físico através de sensores e afetam o mundo físico através de atuadores, de modo autônomo ou se comunicando com outro microcontrolador ou com um computador. Existe uma grande variedade de sensores e atuadores disponíveis para uso em sistemas embarcados, que podem capturar uma ampla gama de propriedades físicas, incluindo intensidade da luz, reflexão, nível de ruído, movimento, aceleração, localização, proximidade, posição, toque, altitude, direção, temperatura, concentração de gás e radiação. Os atuadores afetam o mundo digital produzindo luz, som, movimento ou feedback háptico e com frequência incluem LEDs, alto-falantes, motores e eletroímãs.

No passado, pesquisadores criticaram constantemente a aplicação de técnicas de visão computacional no desenvolvimento de mesas tangíveis, apontando desvantagens como lentidão e alta latência, instabilidade, falta de robustez e problemas de oclusão, além de favorecer outras técnicas, como a detecção de campo eletromagnético com o uso de objetos com marcadores baseados em RFID ou até rastreamento acústico por meio de ultrassom. As implementações recentes como o reactTable, demonstram claramente que essas reservas não são mais aplicáveis (JORDÀ, GEIGER, *et al.*, 2007). Embora os chips RFID fossem bastante populares em protótipos de aplicativos tangíveis há alguns anos, agora eles foram substituídos por marcadores fiduciais, visto que estes últimos são mais versáteis e fornecem identificação e rastreamento mais robustos de objetos em uma ampla superfície (MARCO, CERZO, *et al.*, 2016).

O trabalho de Schöning *et al.* (2010) fornece instruções sobre como criar superfícies multitoque interativas, discutindo os prós e contras das diferentes abordagens. Enquanto os sistemas comerciais ainda não se consolidam como uma solução tecnológica e financeiramente viável, os pesquisadores ainda precisam moldar e controlar o hardware subjacente, permanecendo ainda aberta a oportunidade de inovação. Apresenta uma detalhada descrição das possibilidades para a construção de uma estrutura de uma mesa tangível, com aspectos que envolvem a escolha do projetor, da câmera, dos filtros, da iluminação IR, do uso de espelhos e do material da superfície translúcida da mesa.

Os principais aspectos que envolvem o projetor são a sua luminosidade, resolução, e sua distância de projeção, que deve ser curta, para usar no máximo um espelho, permitir sua colocação dentro da mesa e, mesmo assim, projetar uma imagem próxima a 40” na superfície da mesa. Em relação à câmera, os principais aspectos que precisam ser analisados são a sua resolução, tipo de sensor e sensibilidade, *frame rate*, lentes e filtros. O filtro IR e a iluminação IR devem ter as mesmas especificações, normalmente 850nm (SCHÖNING, HOOK, *et al.*, 2010).

Até o momento, não há dispositivos de entrada ou saída padrão para TUIs. Os desenvolvedores de TUI empregam uma ampla gama de tecnologias que detectam objetos e gestos, bem como detectam e criam mudanças no mundo físico real. As estratégias empregadas variam desde o uso de eletrônicos personalizados e hardware padrão da indústria até o reaproveitamentos de componentes e de dispositivos ou brinquedos eletrônicos (SHAER, HORNECKER, 2009).

Uma mesa tangível pode ser desenvolvida e utilizada de modo eficiente com um sistema de rastreamento de objetos auxiliado por uma iluminação infravermelha. Esta abordagem apresenta custos bem inferiores aos dos produtos comerciais. As principais tecnologias para iluminação e rastreamento de objetos são descritas a seguir.

### 3.1.1 Iluminação Infravermelha

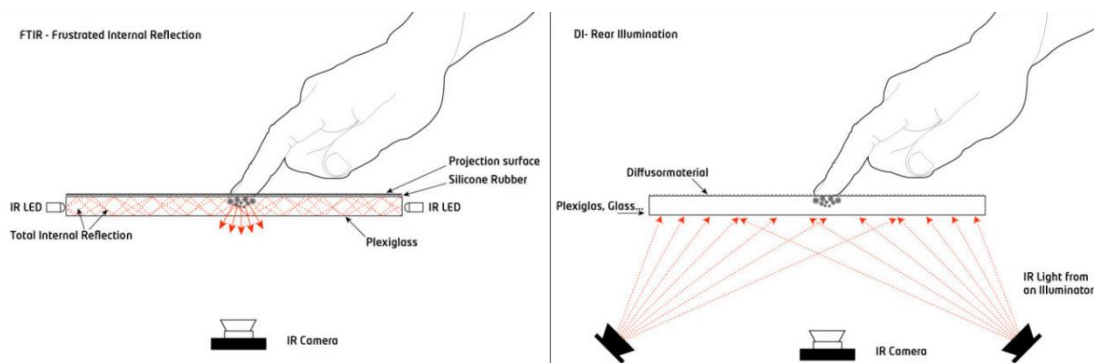
As abordagens ópticas para multitoque e reconhecimento de marcadores fiduciais usam o processamento de imagem para determinar a localização e a natureza das interações com a superfície e geralmente utilizam iluminação infravermelha (IR). O trabalho de Han (HAN, 2005), que utilizou o princípio do FTIR na interação multitoque, pode ser visto como o ponto de virada no interesse e no desenvolvimento de tais sistemas ópticos. Os sistemas óticos IR podem usar as abordagens FTIR, DI (SCHÖNING, HOOK, *et al.*, 2010) ou DSI (SCHÖNING, BRANDL, *et al.*, 2008).

A abordagem **FTIR** - *Frustrated Total Internal Refection* (fig. 2, à esquerda) é baseada na reflexão interna total óptica dentro de uma superfície interativa. As ondas eletromagnéticas transmitidas dentro de uma superfície transparente são completamente refletidas se o material interno tiver um índice de refração mais alto que o material externo e o ângulo de incidência no limite da superfície é suficientemente pequeno. A configuração mais comum do FTIR envolve o uso de um painel de acrílico transparente no qual a luz infravermelha é projetada em seu

interior usando tiras de LEDs nas bordas. Quando o usuário toca no acrílico, a luz é refletida, devido ao seu maior índice de refração, pelo dedo que está em contato com a superfície e escapa em direção a uma câmera sensível ao infravermelho, alinhada perpendicularmente à superfície, que pode detectar claramente essas reflexões. Um software de visão computacional é aplicado à imagem da câmera para determinar a localização do ponto de contato. Como o acrílico é transparente, um projetor pode ser localizado atrás da superfície, próximo à câmera, produzindo uma tela multitoque retroprojetiva.

Os sistemas de **DI** - *Diffused Illumination* (fig. 2, à direita) têm uma configuração semelhante, com um projetor e uma câmera sensível ao infravermelho posicionada embaixo da superfície. No entanto, para DI, a iluminação infravermelha é colocada embaixo da superfície de projeção; fazendo com que a área na frente da superfície seja iluminada com nitidez com IR. Com isso, a câmera detecta os reflexos IR de dedos e objetos na superfície. A detecção de toque explora o fato de que uma superfície de projeção (colocada sobre a superfície) difunde a luz, desfocando os objetos à distância. A principal vantagem do FTIR é que ele permite um rastreamento muito robusto dos dedos, no entanto, o DI tem a vantagem adicional de permitir um rastreamento mais fácil de objetos físicos, que podem ser identificados por sua forma ou pelo uso de **marcadores fiduciais**, que são marcadores facilmente reconhecíveis, geralmente com uma forma de um padrão distinto, fixados na base dos objetos.

Figura 2 – Iluminação IR: FTIR e DI

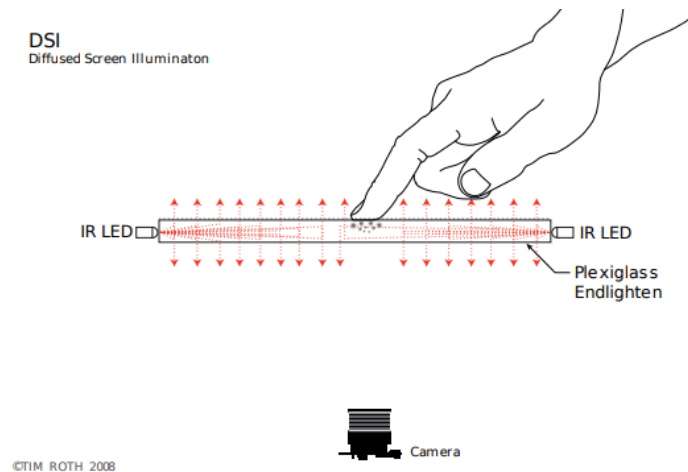


Fonte: (SCHÖNING, HOOK, *et al.*, 2010)

Os sistemas **DSI** - *Diffused Surface Illumination*. (SCHÖNING, BRANDL, *et al.*, 2008) propõem o uso de um acrílico especial que incorpora pequenas partículas que atuam como pequenos espelhos com luz IR injetada nas bordas desse material, que é redirecionada e espalhada uniformemente pela superfície (fig. 3).



Figura 3 – DSI - Diffused Surface Illumination



Fonte: (SCHÖNING, BRANDL, *et al.*, 2008)

DSI soluciona o problema de obter uma distribuição uniforme da luz IR na superfície da tela, que normalmente é realizada em configurações DI usando um pequeno número de iluminadores IR (dois ou três). As vantagens dessa abordagem são a facilidade para obter uma distribuição uniforme da luz e a facilidade de instalação. As desvantagens são: há menos contraste comparado às configurações DI normais, pois o material da superfície também redireciona o infravermelho para a câmera, há potencialmente mais problemas com a IR ambiente devido ao menor contraste e possíveis restrições de tamanho da superfície devido à flexibilidade do material da superfície.

Se num sistema baseado em toque ou multitoque a iluminação é fundamental para identificar os toques dos dedos na superfície, numa mesa tangível que utiliza objetos reais com marcadores fiduciais fixados em sua base, a iluminação IR é utilizada para que a câmera capte apenas o IR refletido nos marcadores fiduciais e não sofra nenhuma interferência da imagem projetada na superfície da mesa e nos objetos que estão sobre ela.

### 3.1.2 Sistemas de rastreamento de objetos

Para que a interação numa mesa tangível ocorra é fundamental identificar os objetos e seus posicionamentos e movimentações sobre a superfície da mesa, o que pode ser obtido com o uso de um framework de visão computacional. As principais opções para isso são o ReactIVision/TUIO, o BullsEye, o CCV - Community Core Vision, o Trackmate e o EventTable.

### 3.1.2.1 ReacTIVision e TUIO

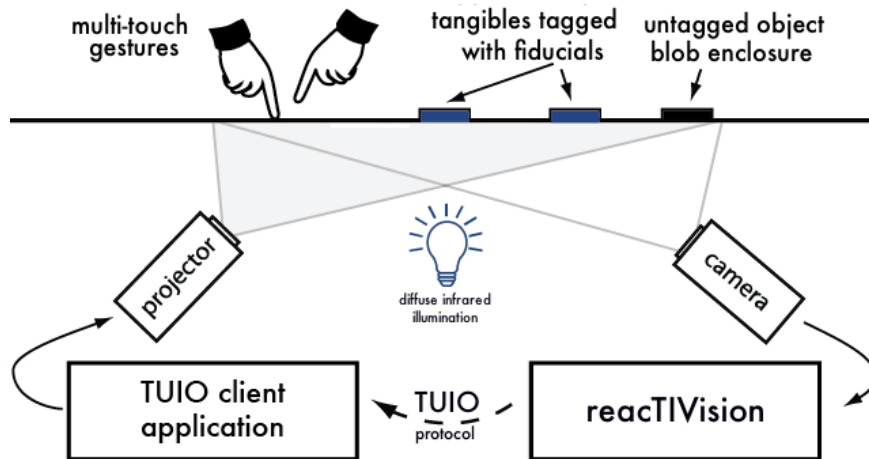
O reactTIVision (KALTENBRUNNER, 2009) é um software gratuito, fornecido sob a licença GPL, que permite rastrear objetos tangíveis com marcadores fiduciais e multitoque, implementando algoritmos de visão computacional. Juntamente com o protocolo TUIO, o reactTIVision fornece um kit de ferramentas para o desenvolvimento de TUIs baseados em mesa tangível com iluminação infravermelha difusa (DI). Ambos os componentes foram desenvolvidos inicialmente para aplicações musicais no contexto do projeto Reactable (JORDÀ, KALTENBRUNNER, *et al.*, 2006), um sintetizador modular tangível baseado em uma superfície de mesa interativa.

O reactTIVision é executado nos sistemas operacionais Windows, Mac OS X e Linux. No Windows, ele suporta qualquer câmera com um driver WDM adequado, como a maioria das câmeras USB, FireWire e DV.

O protocolo TUIO fornece uma descrição sobre o estado e identificador no contexto de uma superfície bidimensional e ângulo de rotação para o rastreamento de objetos físicos com marcadores fiduciais. A especificação de um protocolo descritivo baseado em rede sugere o design de uma arquitetura distribuída, separando o componente do sensor de rastreamento da aplicação real do usuário. Essa abordagem distribuída permite a interoperabilidade de várias tecnologias de sensores, plataformas e ambientes de programação, fornecendo uma coleção de implementações de clientes TUIO para linguagens de programação como C, C++, Java, JavaScript e C#. A estrutura inclui um conjunto de exemplos de clientes TUIO gratuitos para várias linguagens de programação, que servem como base para o desenvolvimento de aplicativos de interface do usuário tangíveis.

O protocolo TUIO foi projetado para codificar o estado de objetos tangíveis e eventos multitoque a partir de uma superfície de mesa interativa, como o Reactable (JORDÀ, KALTENBRUNNER, *et al.*, 2006). Na mesa tangível, os dados captados pela câmera são tratados pelo ReacTIVision, decodificados e enviados via protocolo TUIO (porta UDP) para a aplicação, que exibe os dados através do projetor multimídia (fig. 4). A mesa possui uma iluminação infravermelho difusa, para que a câmera capture apenas os marcadores dos objetos tangíveis e os gestos multitoque da superfície da mesa.

Figura 4 – Funcionamento do reacTIVision



Fonte: (“reacTIVision”, [S.d.]

O principal método de rastreamento fiducial usado no reacTIVision é baseado na análise de gráficos de adjacência de região. Depois de aplicar um limite adaptável local à imagem original da câmera, a imagem binária resultante é então segmentada em um gráfico de regiões preto e branco adjacentes. Portanto, a identificação dos marcadores fiduciais (fig. 5) é baseada em uma pesquisa de dicionário de estruturas de árvores definidas anteriormente que são codificadas na topologia do marcador, e o layout real do símbolo carrega informações adicionais, o que permite o cálculo preciso do ponto central do símbolo e seu ângulo de rotação.

Figura 5 – Marcadores fiduciais do reacTIVision



Fonte: (KALTENBRUNNER, 2009)

Adicionalmente, o reacTIVision fornece suporte para rastreamento de toque e mulitoque na superfície tangível. O tamanho médio dos dedos e o erro máximo podem ser ajustados no aplicativo, produzindo bons resultados de rastreamento em condições bem ajustadas. Como essa abordagem não introduz nenhum filtro de imagem adicional para aprimorar a imagem de origem, a tarefa de configuração inicial da câmera e do ambiente de iluminação deve ser realizada com mais atenção.

### 3.1.2.2 BullsEye

BullsEye é um framework de visão computacional, com um conjunto de novas técnicas de rastreamento de marcadores fiduciais para fornecer com precisão e permitir o mapeamento de projeção interativa em uma mesa tangível. Embora o BullsEye seja projetado para permitir mesas 3D tangíveis, também é uma estrutura para rastreamento fiducial de mesa tangível com marcadores fiduciais e rastreamento com os dedos (KLOKMOSE, KRISTENSEN, *et al.*, 2014). A principal vantagem do BullsEye em comparação com a reactIVision é que o BullsEye oferece uma precisão maior que o reactIVision. Além disso, o BullsEye facilita a compensação significativamente mais precisa e automatizada de distorções ópticas das câmeras.

Os fiduciais BullsEye (fig. 6) foram projetados para que as três etapas de rastreamento possam ser facilmente implementadas com *shaders* executados na GPU. Um fiducial do BullsEye consiste em um ponto branco central cercado por um anel preto sólido e um ou mais anéis de dados novamente cercados por um anel branco sólido dentro de um anel preto com três pinos brancos. Os anéis de dados codificam o identificador do marcador fiducial em formato binário (branco é 1 e preto é 0). No anel externo preto, há um cravo apontando para a direita e dois apontando para a esquerda. Os pinos indicam a rotação do fiducial e podem ser interpretados visualmente como uma flecha passando pelo fiducial mostrando a orientação. Portanto, tanto a orientação quanto a identificação são facilmente legíveis por humanos. Uma forma baseada em anel foi escolhida porque os anéis – considerando o centro, o raio e a largura do anel – são facilmente identificáveis na GPU com relativamente poucas pesquisas de textura. Ao calcular o centro do fiducial, a rotação pode ser calculada por amostragem para a posição dos três pinos brancos. Finalmente, conhecendo a rotação, o identificador pode ser lido nos anéis de dados no fiducial.

Figura 6 – Fiducial BullsEye



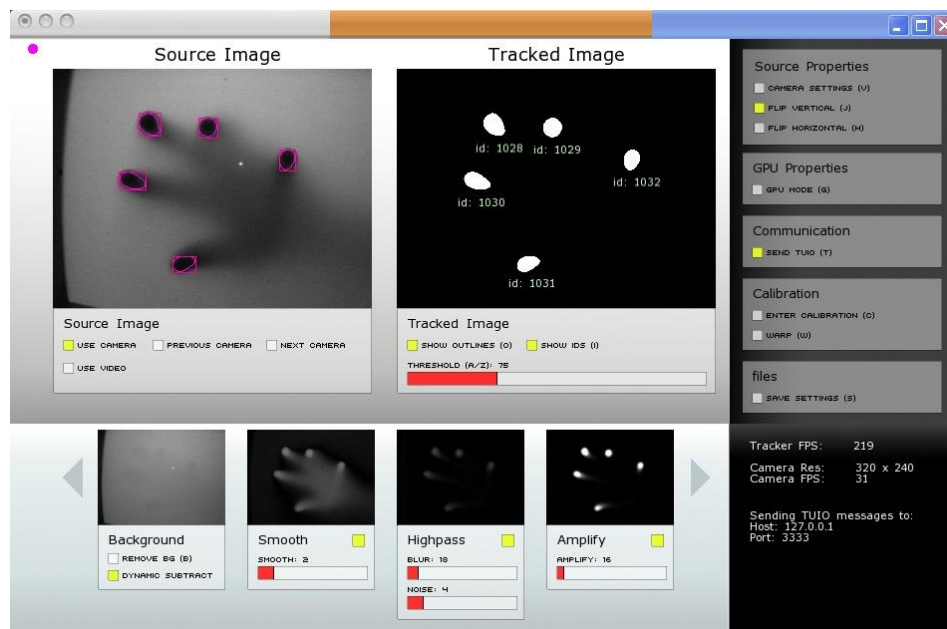
Fonte: (KLOKMOSE, KRISTENSEN, *et al.*, 2014)

O BullsEye realiza o processamento de imagens usando *shaders* na GPU com implementação em Java e OpenGL Shader Language. Emprega técnicas suportadas apenas por placas gráficas que suportam o Open GL 3.2 ou mais recente. Isso impede o seu uso em minicomputadores e Raspberry Pi, mas pode ser executado em computadores com as placas gráficas integradas mais populares, como a série Intel HD Graphics.

### 3.1.2.3 CCV - Community Core Vision

O CCV - *Community Core Vision* (“CCV”, [S.d.]) é uma solução de código aberto para rastreamento com visão computacional. Ele utiliza um fluxo de entrada de vídeo e gera dados de rastreamento (como coordenadas e tamanho) e eventos que são usados na construção de aplicativos multitoque. O CCV (fig. 7) pode interagir com várias câmeras, *webcams* e dispositivos de vídeo, além de conectar-se a vários aplicativos habilitados para TUIO, OSC e XML e suporta técnicas de iluminação multitoque e rastreamento de objetos e marcadores fiduciais.

Figura 7 – Interface do CCV



Fonte: (“CCV”, [S.d.]

CCV utiliza algoritmos modernos de visão computacional e é orientado a aplicativos. Ele inclui um classificador de imagens de última geração, um detector de face frontal, uma coleção razoável de detectores de objetos para pedestres e carros, um algoritmo útil de detecção de texto e um rastreamento geral de objetos.

#### 3.1.2.4 Trackmate

Trackmate (KUMPF, 2009) é uma iniciativa de código aberto (“Trackmate”, [S.d.]) para criar um sistema de rastreamento tangível de baixo custo, que permite o reconhecimento de objetos marcados e suas informações correspondentes de posição, rotação e cor quando colocadas em uma superfície. Usa um pequeno código de barras circular especialmente projetado com menos de 2,5x2,5cm, contendo identificadores de seis *bytes* (mais de 280 trilhões de combinações), além de uma soma de verificação de um *byte* para detecção simples de erros.

O seu funcionamento numa mesa tangível não exige um projetor ou iluminação IR, mas permite o seu uso. Envia dados do rastreamento do objeto para outras aplicações via LusidOSC (“LusidOSC”, [S.d.]), um protocolo desenvolvido para funcionar com uma grande variedade de dispositivos de rastreamento. O LusidOSC é uma iniciativa de código aberto para definir e dar suporte a uma camada para dispositivos de entrada espacial exclusivos usando o Open Sound Control. O Trackmate é portátil e facilmente personalizado, incentivando os usuários a criar o sistema próprio e integrá-lo facilmente.

#### 3.1.2.5 EventTable

EventTable (ANTLE, MOTAMEDI, *et al.*, 2009) é uma técnica de rastreamento de objetos tangíveis implementada em uma plataforma de mesa tangível, baseada em visão computacional. Implementa uma técnica de rastreamento orientada a eventos, ao invés de centrada em objetos. Ao invés de marcar objetos individuais, os marcadores fiduciais são distribuídos entre objetos (fig. 8) que, quando são trazidos para um relacionamento proximal ou conectado, um marcador é formado e reconhecido pelo sistema de rastreamento. O sistema reconhece marcadores completos quando dois ou mais objetos com partes de um marcador inteiro entram em contato. Utiliza o reacTIVision para o rastreamento dos objetos e a aplicação pode ser implementada em Processing, PureData ou Java. A técnica pode ser usada além do rastreamento de objetos individuais e do toque.

Figura 8 – Marcadores únicos são distribuídos nos objetos tangíveis



Fonte: (ANTLE, MOTAMEDI, *et al.*, 2009)

Os eventos do sistema são acionados quando os objetos são conectados ou estão próximos. A principal vantagem de confiabilidade na distribuição de marcadores entre objetos em uma abordagem baseada em eventos é que os objetos com marcadores parciais não são detectados até formarem um marcador inteiro. Isso elimina a necessidade de rastrear objetos individuais enquanto "espera" que dois objetos sejam colocados próximos um do outro. Essa abordagem também elimina a necessidade de procurar pares legais (trios, quartetos, etc.) toda vez que dois marcadores adjacentes são detectados.

### 3.2 TECNOLOGIAS PARA APLICAÇÕES PARA MESA TANGÍVEL

Existem duas alternativas para uso de mesa tangível: utilizar uma solução comercial ou desenvolver a própria solução, envolvendo a mesa e a aplicação. Para desenvolver a própria aplicação ou uma ferramenta de autoria que facilite o processo de criação de aplicações pode-se usar qualquer linguagem padrão, como C, Java, JavaScript, PHP, Python ou utilizar um framework que já proporcione alguma funcionalidade implementada e minimize os esforços de programação do ambiente. Para o desenvolvimento de aplicações ou de ferramentas que facilitem a criação de aplicações para mesas tangíveis, algumas tecnologias que estão disponíveis e se destacam são o ROSS, a Microsoft Surface e os produtos da MultiTaction.

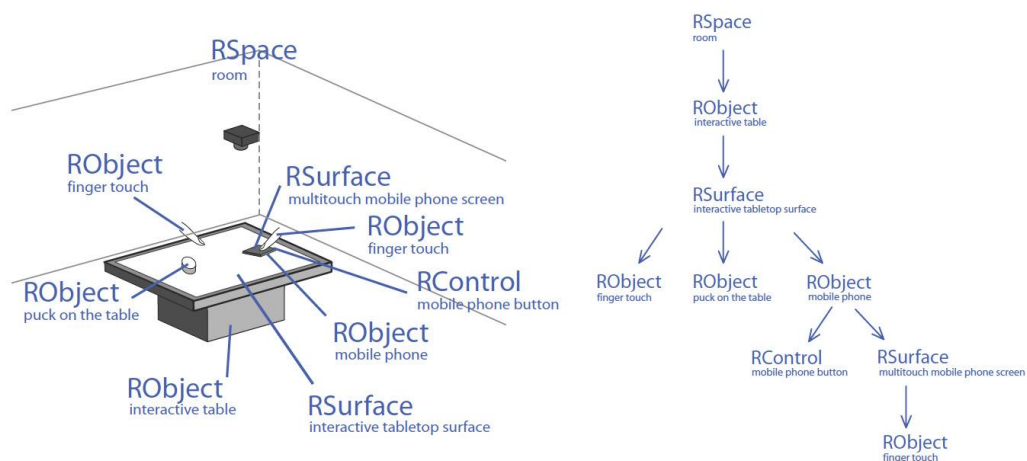
#### 3.2.1 ROSS

Responsive Objects, Surfaces and Spaces (ROSS) é uma estrutura que permite que os desenvolvedores criem facilmente aplicativos para redes heterogêneas de dispositivos e

plataformas tangíveis que facilita a visão das infraestruturas interativas. A API ROSS foi projetada para utilizar combinações de diferentes plataformas de interação em um único aplicativo unificado, a partir da abstração dos comandos de conexão e comunicação de baixo nível. A API do ROSS introduz uma nova maneira de pensar sobre as estruturas inerentes aos espaços de aplicativos, onde todas as superfícies, espaços e objetos interativos são organizados em uma estrutura aninhada hierárquica que se assemelha à estrutura do mundo real de superfícies, espaços e artefatos tangíveis. Essa estrutura aninhada permite consultar e navegar de uma entidade para outra dentro de um sistema interativo.

A estrutura de classes principais da API ROSS (TARUN, ARIF, *et al.*, 2015) inclui as seguintes classes (fig. 9): espaços responsivos (RSpace) representando espaços 3D interativos; superfícies responsivas (RSurface) representando superfícies 2D interativas; objetos ativos ou passivos responsivos (RObject) rastreados em um RSpace ou RSurface; controles padrão aninhados (RControl), parte de um RObject. Cada instância dessas classes possui um identificador exclusivo e rastreia propriedades exclusivas. Essa abstração de alto nível serve como uma interface entre os aplicativos e os drivers de dispositivo e protocolos de comunicação.

Figura 9 – Estrutura dos componentes da API do ROSS



Fonte: (TARUN, ARIF, *et al.*, 2015)

### 3.2.2 Microsoft Surface e Samsung SUR40

Em 2007 a Microsoft lançou a Microsoft Surface (fig. 10), prometendo derrubar as barreiras tradicionais entre pessoas e tecnologia. A Surface pode reconhecer objetos físicos e permite o controle direto do conteúdo, como fotos, músicas e mapas. O Surface transforma uma mesa comum em uma superfície dinâmica que fornece interação com todas as formas de



conteúdo digital através de gestos naturais, toques e objetos físicos, sem a necessidade de teclado, mouse e dispositivos USB.

Figura 10 – Microsoft Surface



Fonte: (“Microsoft Announces Surface Computer”, 2007)

O software Surface é executado no Surface Shell, que é o principal processo que pode fazer uso das funções de hardware do Surface. A interação inicial é com um aplicativo que o incentiva a tocar na tela. O aplicativo padrão para isso é um lago virtual de água que ondula quando é tocado. Os pontos de acesso aparecem em cada canto da tela e o iniciador apresenta todo o software Surface instalado. A Microsoft incluiu uma série de aplicativos Surface padrão para reprodução de música, desenho, organização de fotos, pesquisa de mapas, compras, serviços bancários e jogos. Novos aplicativos podem ser desenvolvidos com o Surface Developer Kit (SDK) da Microsoft. Os aplicativos reconhecem e utilizam os seguintes movimentos no Surface: tocar, arrastar, escalonar, virar, movimentação rápida (deixar algo de lado), pode deslizar rapidamente pela superfície do objeto como se estivesse empurrando um pedaço de papel. O Surface detectará o momento que você colocou atrás do furto e moverá o objeto para o lado da tela onde ainda está acessível, mas fora do seu caminho (CRAWFORD, 2011).

No final de 2011 a Samsung lançou no mercado a mesa com tela sensível ao toque SUR40 (fig. 11), com preço inicial US\$ 8.400 nos EUA. A mesa usa a tecnologia Microsoft Surface 2.0, e possui uma tela *multitouch* de 40 polegadas, com resolução de 1080p e tecnologia PixelSense, que permite que as telas LCD “enxerguem” os objetos sem a necessidade de uma webcam (SAMSUNG ELECTRONICS, 2011).

Figura 11 – Mesa Samsung SUR40



Fonte: <https://www.samsung.com/us/business/support/owners/product/40-samsung-sur40-for-microsoft-surface-sur40/>

Possui um computador embutido que capta e responde ao que for colocado sobre a mesa. Cada um dos pixels do LCD da tabela emite um feixe de infravermelho que reflete um objeto de volta para um sensor. O processador sintetiza os dados do sensor para criar uma imagem, a partir da qual pode selecionar formas e textos, como nomes e números de produtos. Quando o objeto é identificado, a mesa tangível exhibe vídeos e outras informações. Conta com o sistema operacional Windows 7 Professional integrado e programação baseada no SDK do Surface 2.0 da Microsoft, que permite que desenvolvedores adaptem qualquer tipo de aplicativo para que funcione da forma mais ajustada possível na mesa.

O produto é destinado aos setores do comércio varejista, como lojas de departamento, restaurantes e demais áreas de mídia interativa e mercado empresarial. Apesar de ter recebido o prêmio “*Best of What’s New 2011*” da revista Popular Science, na categoria *Home Entertainment* (“Best of What’s New, 2011 - Popular Science”, 2011), a mesa tangível não foi um sucesso de vendas, seu uso foi restrito e o produto foi descontinuado, da mesma forma que o SDK do Surface 2.0 da Microsoft. O alto custo e a exigência de um alto nível de conhecimento de programação pode ter sido um dos motivos da sua não utilização em atividades e ambientes educacionais, que exigem o desenvolvimento de programas e aplicativos específicos.

### 3.2.3 MultiTaction

Os monitores MultiTaction podem ser usados como mesas interativas com suporte a toque, multitoque e objetos com marcadores fiduciais. Girar, mover e explorar com os itens apenas proporciona a diversão e o aumento do envolvimento com o conteúdo em salas de encontros, museus, lojas, bibliotecas e ambientes educacionais (“Touchscreen Object Recognition by MultiTaction”, [S.d.]).

Um monitor MultiTaction reconhece e identifica os marcadores ópticos do Codice usando algoritmos de visão por computador e reconhecimento de objetos (fig. 12). Um marcador óptico do Codice é semelhante a um código QRCode. Ao colocar um marcador óptico em uma tela, o usuário pode mostrar, reproduzir, enviar e receber rapidamente conteúdo personalizado e exclusivo, resultando em uma experiência de sinalização digital altamente personalizada.

Figura 12 – MultiTaction



Fonte: (“Touchscreen Object Recognition by MultiTaction”, [S.d.]

É uma solução comercial completa, que envolve hardware e software com qualidade e luminosidade bem superiores à obtidas em mesas que usam retroprojeção e também apresentam maior precisão no rastreamento dos objetos. As mesas tangíveis MultiTaction têm custos que variam de US\$ 10.000 a US\$ 12.000 nos EUA e exigem conhecimento técnico para o desenvolvimento de aplicações. O alto custo e a necessidade de importação dos produtos, com o acréscimo dos impostos de importação que quase duplicam o seu custo, além da exigência de programação explícita para o desenvolvimento das aplicações dificultam e praticamente inviabilizam o seu uso na educação inclusiva.

#### 4 TRABALHOS RELACIONADOS

Esta proposta contempla a criação de uma plataforma digital para produção de recursos educacionais baseados em mesa tangível, na qual os próprios educadores possam criar e utilizar as aplicações. Existem várias pesquisas sobre utilização de mesas tangíveis na educação, porém não há publicações sistematizadas sobre a construção de mesas de baixo custo, do mesmo modo que não há ferramentas de autoria que atendam às necessidades pedagógicas para uso deste tipo de tecnologia na educação inclusiva. Há ainda a necessidade de uma melhor facilidade para utilizar, programar e personalizar os cenários que envolvem as mesas tangíveis.

Criar atividades de aprendizagem em mesas tangíveis requer competências multidisciplinares. Até agora, muitos atores educacionais estão envolvidos apenas marginalmente no processo de criação de tais atividades e precisam passar por um desenvolvedor para cada etapa do processo (MAQUIL, TOBIAS, *et al.*, 2017). Como os ambientes disponíveis para desenvolvimento de aplicações para mesas tangíveis (IDEs e SDKs) exigem habilidades de programação e os assistentes ou interfaces mais amigáveis desenvolvidas em alguns projetos de pesquisa até o momento são, ainda, incipientes e incompletas, há ainda uma grande lacuna entre as necessidades dos educadores por recursos educacionais tangíveis e a possibilidade e viabilidade de desenvolvimento das mesmas.

A pesquisa de Vieira (2018) foi precursora no uso de mesa tangível no PPGIE/UFRGS e investigou os estados afetivos de alegria e frustração em crianças com TEA, num contexto de contação de histórias em mesas tangíveis. Envolveu o desenvolvimento de ambiente de aprendizagem baseado em mesa tangível, com a construção de uma mesa tangível baseada em IR e reacTIVision, a seleção da história infantil, a confecção manual dos objetos concretos e a programação da aplicação para a mesa com o KitVision. A intervenção consistiu da utilização dos recursos tecnológicos desenvolvidos para atender o propósito da pesquisa e de ações mediadoras planejadas e fundamentadas. A literatura acadêmica tem mostrado que a contação de histórias traz benefícios à criança como desenvolvimento da criatividade, manipulações simbólicas e conceitos abstratos, aquisição de novas competências sociais e a melhoria de comportamentos sociais já existentes e o uso de materiais tangíveis estimula os múltiplos sentidos e o desenvolvimento de funções cognitivas, bem como habilidades de percepção. A mesa cumpriu com o seu objetivo pedagógico e possibilitou ao sujeito escutar, visualizar e experimentar e motivou o aprofundamento das pesquisas, aprimoramentos na mesa tangível e

o desenvolvimento de um novo editor, com mais recursos e que possa ser utilizado por um professor que não tem conhecimento técnico e domínio de lógica de programação.

Apesar de existirem ferramentas de autoria, como o KitVision, ISAR e TIES, elas apresentam limitações em suas funcionalidades ou exigem um certo conhecimento técnico e lógica de programação. Não há uma ferramenta de autoria que apresente muitos recursos pedagógicos e que seja simples e fácil de utilizar. Do mesmo modo, não há publicações que sistematizem a produção e uso de mesas tangíveis para uso na educação, assim como elas não têm como objetivo fornecer uma plataforma para produção e uso de recursos educacionais tangíveis pelo educador.

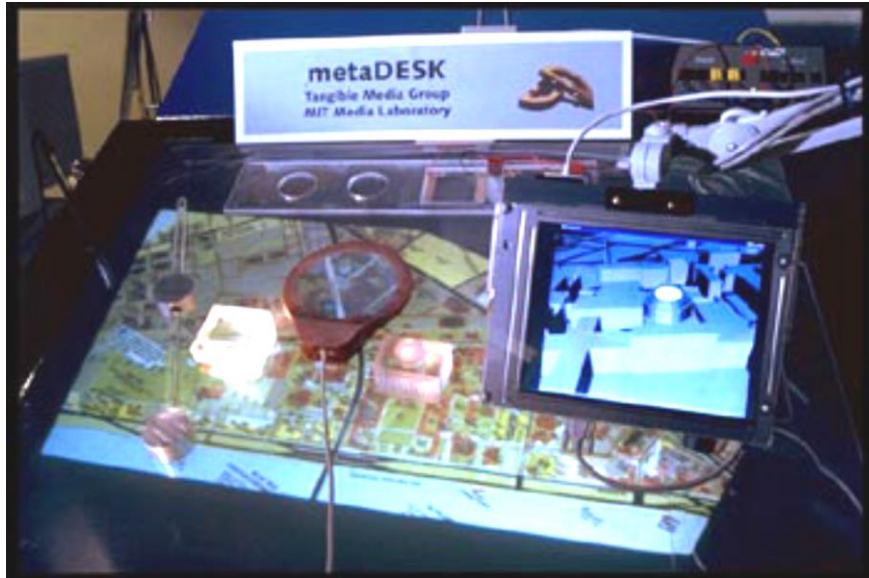
Os principais trabalhos relacionados com mesa tangível são metaDESK, reacTable, NIKVision, KitVision, ToyVision, TIES, ISAR e Robotable. Além desses, merecem destaque os trabalhos e pesquisas que relatam experimentos com mesa tangível, frameworks para mesa tangível, uso das mesas tangíveis para educação e atividades colaborativas, uso de mesas tangíveis com pessoas com deficiência e estudos conceituais de TUI, descritos a seguir.

#### 4.1 METADESK

O metaDESK (ULLMER, Brygg, ISHII, 1997) é uma plataforma de interface com o usuário que oferece suporte à interação física com informações digitais através da manipulação de objetos, instrumentos e superfícies físicos. Fornece forma física a dispositivos de interface gráfica com o usuário (GUI), instanciando fisicamente ícones, janelas, menus, alças e controles como *phicons* (ícones físicos), lentes, bandejas, *phandles* (alças físicas) e instrumentos.

A plataforma metaDESK utiliza objetos e instrumentos tangíveis manipulados em uma superfície de tela quase horizontal monitorada internamente com visão computacional. Essa superfície da interface é complementada com o monitor de tela plana de "lente ativa" montada no braço, bem como o dispositivo de "lente passiva" de fibra óptica que atua como uma tela independente por meio do aumento da mesa retroprojetada, além de uma variedade de objetos e instrumentos físicos que são usados na superfície da mesa. Esses componentes são detectados por uma matriz de sensores ópticos, mecânicos e eletromagnéticos. O uso do metaDESK (fig. 13) é demonstrado com o aplicativo de protótipo Tangible Geospace, uma interface de usuário tangível que gera interação com o espaço geográfico.

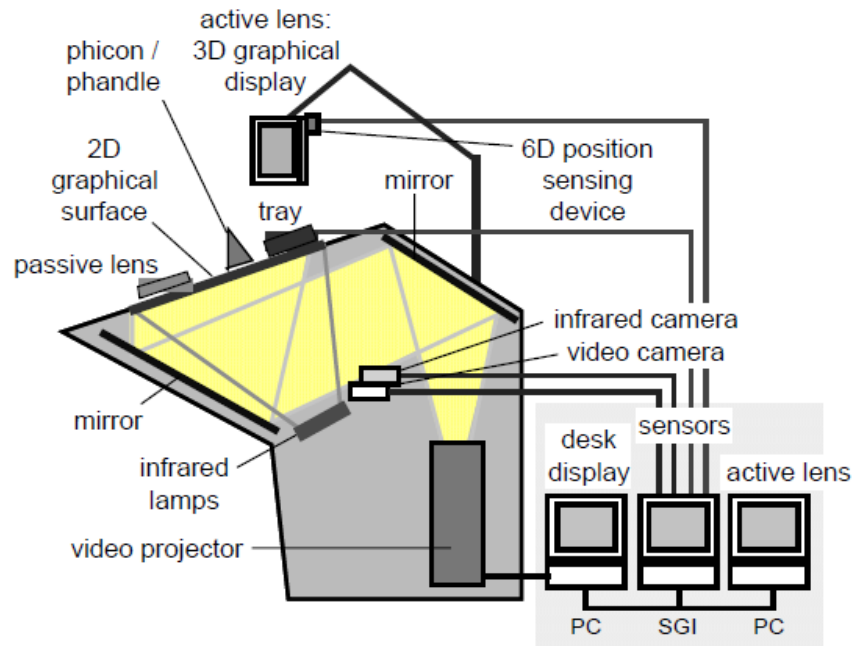
Figura 13 – Sistema metaDESK



Fonte: (ULLMER, Brygg, ISHII, 1997)

A unidade de retroprojeção da mesa (fig. 14) é baseada em um projetor para exibir imagens do computador através de dois espelhos internos em uma superfície difusora de acrílico, que forma a superfície de exibição quase horizontal da mesa (há uma inclinação de 12 graus). A lente ativa é uma tela plana montada em painel, ao lado da mesa, com um sensor de posição de campo magnético para rastrear sua posição e orientação espacial. Os monitores da mesa e das lentes ativas são controlados por computadores com gerenciamento do processamento gráfico. A visualização da lente ativa 3D é de uma câmera virtual posicionada ortogonal à superfície da lente ativa física. Os objetos e instrumentos de restrição de rotação são rastreados através de um software de visão computacional a partir da imagem de duas câmeras montadas dentro de sua estrutura, voltadas para a superfície do difusor retroprojetado por baixo, sendo uma delas de infravermelho. Os demais objetos tangíveis são rastreados por etiquetas eletrônicas e sensores. Uma arquitetura de software foi desenvolvida para sustentar esse modelo de objetos físicos como interface, modelando cada objeto como tendo certas capacidades para detectar seu estado físico, exibir saídas computadas e se comunicar com outros objetos.

Figura 14 – Arquitetura de hardware do metaDESK



Fonte: (ULLMER, Brygg, ISHII, 1997)

O metaDESK é um dos precursores da TUI e inovou ao incorporar um ambiente de interface para interação mista de espaço físico e digital, trazendo a tangibilidade do mundo físico para a computação, com elementos utilizados até hoje, como visão computacional baseada em câmeras infravermelha e retroprojeção na superfície translúcida da mesa. É uma solução que inspirou e direcionou várias pesquisas que a sucederam.

## 4.2 REACTABLE

O ReacTable (JORDÀ, KALTENBRUNNER, *et al.*, 2006) é um instrumento musical eletrônico multiusuário, baseado numa interface proporcionada por uma mesa tangível, desenvolvido por uma equipe de profissionais que constroem instrumentos musicais (*luthiers*) digitais da Universidade Pompeu Fabra de Barcelona. O instrumento foi projetado tanto para iniciantes quanto para músicos eletrônicos avançados, para uso em shows e eventos. Ele permite uso simultâneo compartilhando o controle através do movimento de artefatos físicos na superfície da mesa, construindo diferentes tipos de áudio em um sintetizador modular.

O ReacTable é baseado em uma mesa redonda com superfície translúcida. Uma câmera de vídeo situada no interior da mesa analisa a superfície e rastreia a natureza, posição e orientação dos objetos de diferentes formas. Os objetos são todos passivos e sem sensores ou atuadores, mas possuem marcadores fiduciais em sua base. Cada um dos objetos possui uma



função dedicada à geração, modificação ou controle do som. Ao movê-los e aproximá-los, os artistas constroem e tocam o instrumento ao mesmo tempo, enquanto giram os objetos como botões rotativos, permitindo controlar seus parâmetros internos. Os usuários interagem movendo-os, alterando sua posição, orientação ou faces e controlando a estrutura topológica e os parâmetros de um sintetizador de som (fig. 15).

Figura 15 – ReactTable em ação



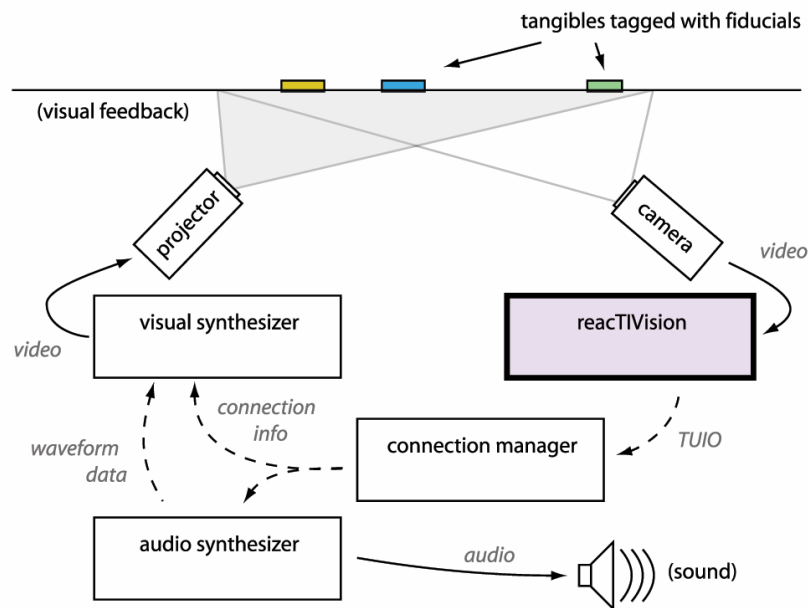
Fonte: (JORDÀ, KALTENBRUNNER, *et al.*, 2006)

No interior da mesa há um projetor multimídia que projeta animações dinâmicas em sua superfície, fornecendo um feedback visual do estado, atividade e principais características dos sons produzidos pelo sintetizador de áudio. O feedback visual é um elemento essencial para ajudar a entender intuitivamente esse funcionamento complexo. Quando um fluxo de áudio é estabelecido entre dois objetos, a forma de onda é desenhada entre eles, mostrando por meio de animações dinâmicas, a direção do fluxo, frequência, intensidade e timbre do som.

Para rastrear discos e dedos, o ReactTable usa uma câmera infravermelha situada embaixo da mesa translúcida, evitando, portanto, qualquer tipo de oclusão. Utiliza o reactIVision, que é o mecanismo de visão computacional de alto desempenho para o rastreamento rápido e robusto de marcadores fiduciais em um fluxo de vídeo em tempo real. Marcadores fiduciais são símbolos gráficos especialmente projetados, que permitem a fácil identificação e localização de objetos físicos com esses símbolos anexados (fig. 16) (JORDÀ, GEIGER, *et al.*, 2007).



Figura 16 – Componentes do ReacTable



Fonte: (JORDÀ, GEIGER, *et al.*, 2007)

Desde 2009, a comercialização e o desenvolvimento do instrumento musical Reactable em todas as suas formas (fig. 17), como mesa tangível e aplicativos, estão sendo realizados pela empresa ReacTable Systems (“ReacTable”, [S.d.]). O ReacTable é importante no contexto das mesas tangíveis por ter sido desenvolvido pelos mesmos criadores do software de visão computacional reactIVision, demonstrando a viabilidade, funcionalidade e utilidades das mesas tangíveis baseadas em visão computacional e do próprio reactIVision. Apesar de ser um produto comercial de sucesso, seu uso é para fins musicais e não é adequado para fins educacionais.

Figura 17 – Produto comercial da ReacTable Systems



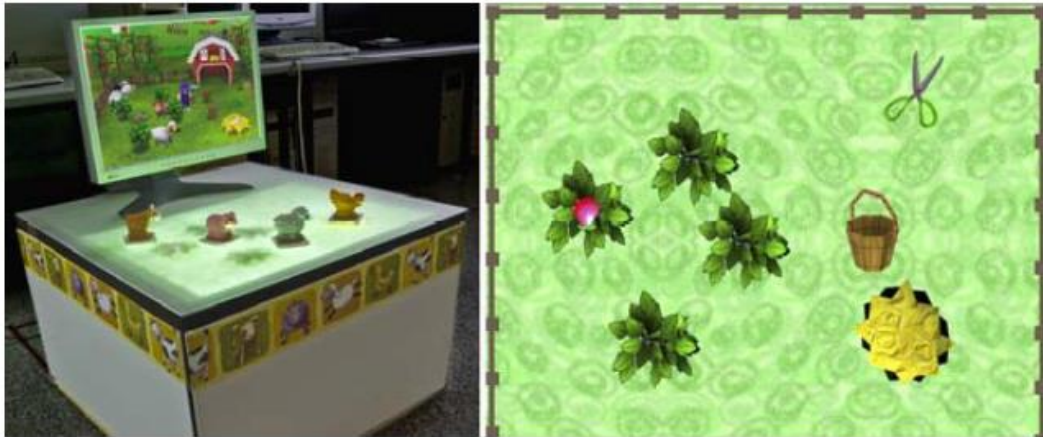
Fonte: (“ReacTable”, [S.d.])

### 4.3 NIKVISION

O NIKVision (MARCO, BALDASSARRI, *et al.*, 2013) é um dispositivo de mesa tangível, com suporte a objetos tangíveis em jogos para crianças, desenvolvido pela equipe do GIGA Affective Lab da Universidade de Zaragoza, Espanha. Com a ideia de ampliar as atividades digitais convencionais das crianças, reproduzidas em uma superfície horizontal, a superfície superior de uma mesa convencional foi substituída por uma superfície semitransparente, para que qualquer objeto colocado nela pudesse ser visto por uma câmera USB, iluminada com luz infravermelha, colocada embaixo da mesa. Foi utilizado o software de reconhecimento visual reacTIVision para rastrear a posição e a orientação dos brinquedos colocados na superfície, com um marcador fiducial fixado à sua base. As manipulações dos brinquedos sobre a mesa afetam o ambiente virtual do jogo, exibido a imagem num monitor e também na mesa, através de uma retroprojeção através de um espelho no interior da mesma. Como não há limite para o número de brinquedos que podem ser colocados e movidos na mesa, mais de uma criança pode brincar ao mesmo tempo, permitindo a socialização. Paralelamente à construção da mesa, diferentes jogos foram explorados para serem implementados no NIKVision.

Um dos objetivos da pesquisa com o NIKVision foi avaliar dados de usabilidade sobre o impacto de ambos os feedbacks de imagem: na área reproduzível da mesa e no monitor, visto que as imagens projetadas na mesa e no monitor não são iguais (fig. 18). Diferentes protótipos foram implementados. No primeiro, elas precisavam manipular os brinquedos para identificar as suas preferências, com o auxílio de um adulto guiando a atividade e as mesmas tiveram um comportamento exploratório, descobrindo ao acaso os objetivos. No segundo jogo, o mesmo era completamente autônomo, sem intervenção de adultos, e contava com um personagem que tinha a função de orientar as crianças nas atividades na mesa, com as crianças realizando todas as atividades na ordem correta sugerida.

Figura 18 – Jogo no NIKVision com imagem projetada na mesa (à direita)



Fonte: (MARCO, BALDASSARRI, *et al.*, 2013)

Algumas das conclusões da pesquisa (MARCO, BALDASSARRI, *et al.*, 2013), é que a adição de um monitor vertical convencional, complementar à imagem ativa mostrada na superfície da mesa, tem um impacto notável na diversão, com um engajamento no jogo enquanto olhavam nas animações no cenário 3D no monitor. Esse benefício pode ser explorado com uma distribuição adequada de feedback visual entre o monitor e a projeção de mesa. A inclusão de um personagem virtual e seu papel no jogo precisam ser cuidadosamente considerados, dependendo dos objetivos do jogo ou atividade pedagógica, pois ele pode fornecer instruções e comandos precisos. No entanto, a interação com o jogo pode se tornar rígida, com menos diversão e espontaneidade. O potencial de uma mesa tangível para promover o jogo físico é melhor explorado quando o modelo clássico de videogame, com tarefas e objetivos a serem alcançados sequencialmente, é evitado, permitindo que as crianças possam explorar e descobrir livremente como ativar sons e animações. O desenvolvimento psicomotor e cognitivo das crianças precisa sempre ser considerado ao projetar qualquer tarefa de jogo.

O Nikvision é um trabalho relevante por desenvolver uma mesa tangível para ser utilizada no contexto educacional, com crianças. Ela explorou uma adaptação de uma mesa tangível baseada em visão computacional e retroprojeção em seu interior, para uma mesa com altura reduzida. Utiliza a superfície da mesa para as interações e conta com um monitor adicional para exibir as cenas e informações.

#### 4.4 KITVISION

O KitVision (BONILLO, MARCO, *et al.*, 2019) é um kit de ferramentas de software baseado no paradigma de desenvolvimento do usuário final para criar e personalizar atividades

interativas de mesa tangíveis para pessoas com deficiências cognitivas. Foi desenvolvido pelos pesquisadores do Affective Lab da Universidade de Zaragoza, com o intuito de envolver terapeutas e permitir que criem facilmente atividades para mesas tangíveis, para uso em suas sessões de terapia.

O KitVision teve sua origem a partir de um trabalho de graduação (BLASCO SANZ, 2015), com implementação em Adobe Flex, baseado em Flash, Adobe AIR e ActionScript 3.0. A principal razão pelo uso dessa linguagem foi porque o ToyVision permite o uso de arquivos flash (SWF) em jogos, e o assistente gráfico também deveria permitir, sendo necessária a escolha de um produto da plataforma Adobe. Outras razões da opção pelo uso dessa linguagem foram seu poder na implementação de interfaces e porque é uma linguagem que permite criar aplicativos multiplataforma.

Para atingir os objetivos, os pesquisadores definiram as áreas cognitivas em que o kit de ferramentas se concentra, analisaram as atividades terapêuticas existentes que trabalham com as áreas escolhidas e definiram os requisitos do kit de ferramentas com base nas características comuns que as atividades analisadas compartilham. Dentre os processos cognitivos, os que são enfocados no KitVision são:

- a) **memória:** este é o processo pelo qual as informações são codificadas, armazenadas e recuperadas. É também a função cuja deterioração é mais evidente quando uma pessoa envelhece. Há dois tipos diferentes de memória: memória de curto prazo, que envolve a capacidade de manter as informações por um período muito curto de tempo (no máximo minutos); e memória de longo prazo, que pode armazenar grandes quantidades de informações permanentemente;
- b) **atenção:** há três tipos de atenção: seletiva, dividida e constante. Atenção seletiva é quando vários estímulos são apresentados ao usuário, que precisa se concentrar em apenas um deles, podendo ignorar os outros que não têm interesse. Atenção dividida é quando o usuário precisa se concentrar em diferentes tipos de estímulos ao mesmo tempo, sendo esses estímulos de diferentes sentidos, como visão e audição. Atenção constante é quando o usuário precisa se concentrar por longos períodos para concluir uma tarefa; e
- c) **raciocínio:** pode ser implícito e explícito. Embora o raciocínio implícito seja um processo inconsciente, o raciocínio explícito permite que o usuário chegue a conclusões com base na própria experiência e conhecimento do usuário. O raciocínio explícito também pode ser dividido em raciocínio lógico/dedutivo e

indutivo. No lógico ou dedutivo, se pode chegar a uma conclusão lógica, com base nas premissas que lhes são dadas. No raciocínio indutivo, as conclusões são alcançadas, mas não necessariamente a partir das premissas.

Os requisitos do KitVision são: 1) deve ser capaz de definir áreas interativas; 2) as atividades podem precisar de objetos ou peças do mesmo tipo; 3) as áreas devem ter uma lista de objetos corretos e uma lista de objetos errados; 4) deve poder oferecer algum tipo de feedback quando os objetos são colocados nas áreas; 5) em algumas atividades, a orientação dos objetos colocados nas áreas pode ser importante; 6) as áreas interativas devem ser fixadas na posição da tela ou vinculadas a objetos; 7) o fundo mostrado na tela deve mudar após um certo tempo que deve ser configurável; 8) deve ser capaz de definir tarefas em uma atividade, para que, quando uma tarefa for concluída, a próxima inicie automaticamente.

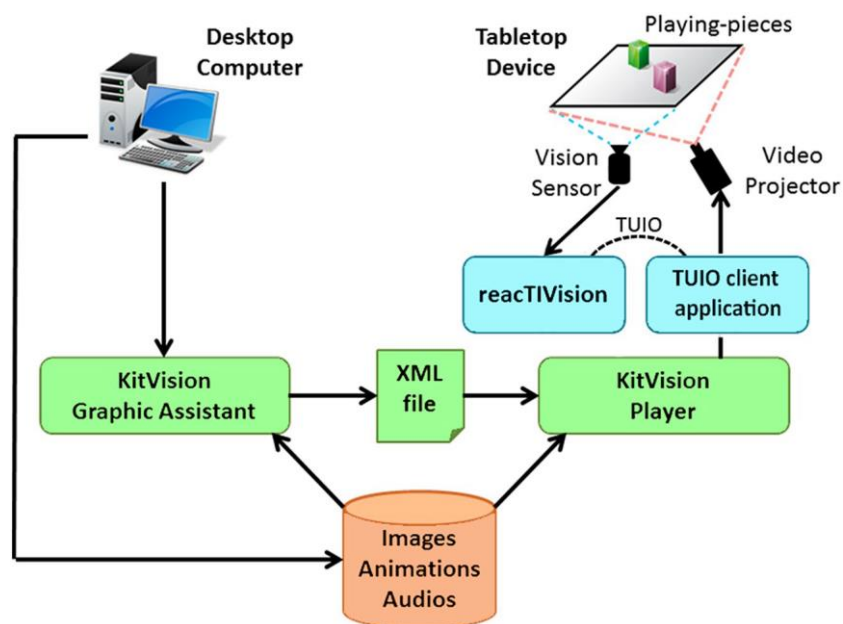
O KitVision definiu uma nova linguagem de marcação, baseada em XML e utiliza um editor WYSIWYG (*What You See Is What You Get* – o que você vê é o que você obtém), que permite criar e visualizar a aplicação exatamente como ela aparecerá na mesa tangível e salvar no formato XML criado. Uma atividade de mesa tangível pode ser modelada como uma sequência de tarefas. Cada tarefa é uma meta que os usuários precisam atingir para avançar na atividade e é composta por:

- a) **um plano de fundo:** pode ser uma imagem visualizada na tela da mesa, uma cor de fundo e/ou um som;
- b) **um ícone:** uma imagem que representa a atividade e aparecerá na tela da mesa, permitindo ao usuário selecionar a atividade;
- c) **várias áreas:** áreas demarcadas em que o posicionamento de um objeto tem um significado específico na atividade. As áreas podem ser associadas à superfície ou a um objeto físico. Uma área associada à superfície é definida em uma posição fixa na tela e essa posição não muda ao longo da atividade. No entanto, uma área associada a um objeto físico se move e gira com o objeto físico, portanto, sua posição é variável. Quando um objeto físico é colocado em uma área, as regras da atividade são aplicadas, verificando se a mesma é correta ou incorreta e tratando essa informação.
- d) **vários objetos:** objetos são colocadas nas áreas. Fora das áreas, a peça não tem significado no jogo ou atividade;
- e) **feedback:** são elementos gráficos e/ou de áudio que mostram as consequências das ações do usuário, informando-o quando sua ação estiver correta ou errada por meio

de uma imagem, animação e/ou som. Para concluir uma tarefa, todas as áreas selecionadas devem ser preenchidas com todos os objetos físicos corretos (e somente com os corretos). Nesse caso, o componente de feedback também informará ao usuário que a tarefa foi concluída e a atividade avançará para a próxima tarefa.

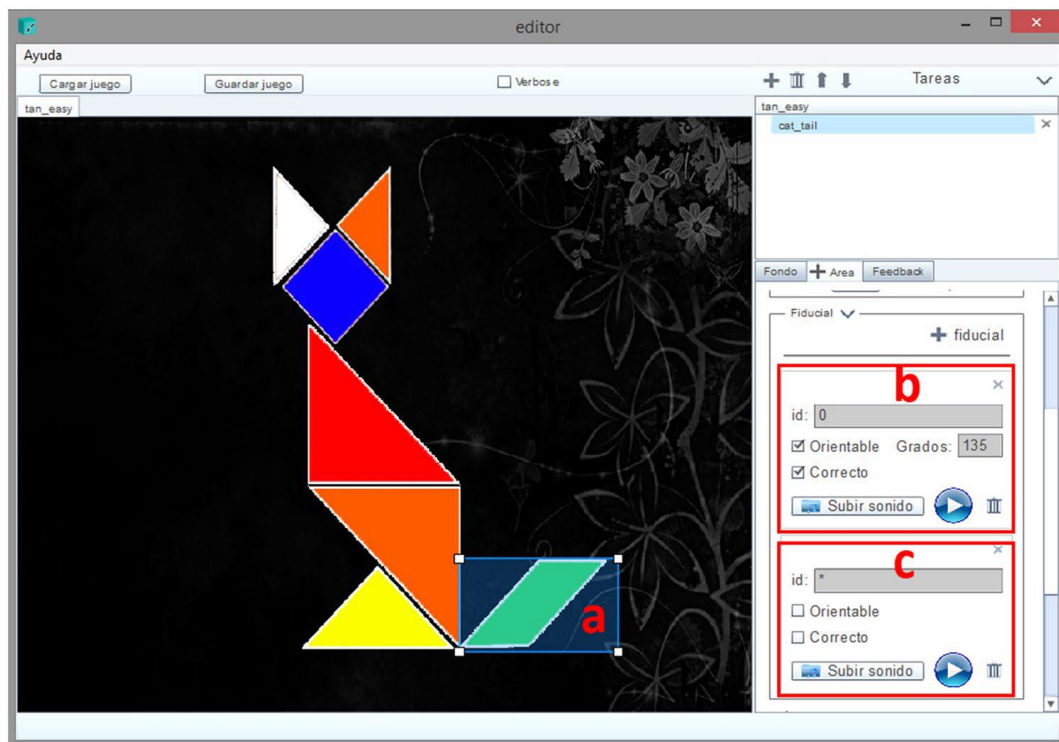
A arquitetura do KitVision (fig. 19) é composta por duas aplicações principais: o assistente gráfico KitVision – editor (fig. 20) desenvolvido com os usuários finais em mente e permite que eles criem o arquivo XML do jogo – e o *player* KitVision, que interpreta e renderiza o arquivo XML do jogo no dispositivo de mesa. Utiliza o reactTIVision e uma câmera de vídeo infravermelha (IR) e iluminação IR colocada dentro da mesa, para identificar e rastrear objetos na superfície da mesa, baseado nos marcadores fiduciais. Cada fiducial está associado a um número diferente, que permite a identificação dos objetos. O reactTIVision analisa a imagem proveniente da câmera de vídeo e se comunica com o aplicativo quando um objeto físico é colocado, removido, movido ou girado na superfície da mesa, enviando a posição do objeto e sua orientação para a aplicação, que, por sua vez, fornece o feedback adequado.

Figura 19 – Arquitetura do KitVision



Fonte: (BONILLO, MARCO, *et al.*, 2019)

Figura 20 – Interface do assistente gráfico do KitVision



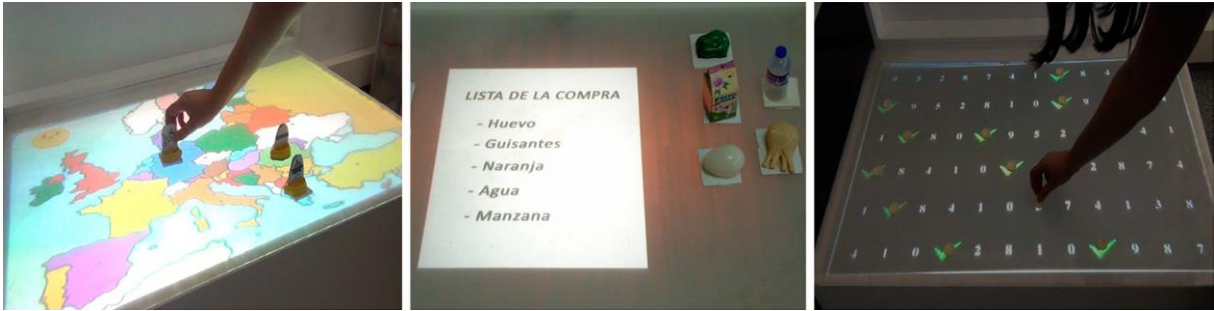
Fonte: (BONILLO, MARCO, *et al.*, 2019)

O processo de criação de uma atividade tangível com o KitVision envolve três estágios:

- a) **criação de objetos físicos e virtuais:** objetos físicos podem ser construídos ou objetos físicos e brinquedos convencionais podem ser adaptados para uso em uma atividade de mesa. Tudo o que é necessário é colar um marcador fiducial impresso na base dos objetos físicos. Gráficos e animações virtuais necessários para criar a atividade podem ser criados em qualquer pacote de software de design gráfico;
- b) **criação da atividade com o assistente gráfico (editor):** o assistente gráfico KitVision é usado para criar a lógica da atividade. Uma imagem ou animação é importada como plano de fundo. Em seguida, são criadas áreas interativas, onde os objetos podem ser colocados. Para cada área interativa, uma lista de objetos corretos e incorretos deve ser criada, com a associação de imagem ou animação e som diferentes a cada um desses estados. Por fim, o feedback para o usuário é definido para reagir às ações dos usuários: padrão, ação correta, ação incorreta e atividade concluída.
- c) **Teste da atividade no dispositivo de mesa:** depois que a lógica da atividade foi definida, a atividade está pronta para ser testada no dispositivo de mesa. A figura 21 apresenta alguns exemplos de atividades criadas.



Figura 21 – Atividades criadas com o KitVision



Fonte: (BONILLO, MARCO, *et al.*, 2019)

O KitVision (BONILLO, MARCO, *et al.*, 2019) é um assistente gráfico para criação de jogos tangíveis para a mesa NIKVision (MARCO, BALDASSARRI, *et al.*, 2013) e uso com o ToyVision (MARCO, CEREZO, *et al.*, 2012). A criação de jogos para a NIKVision requer o uso de uma linguagem de especificação baseada em marcadores XML. O KitVision facilita a criação de jogos tangíveis para a mesa da NIKVision para os usuários que não possuem conhecimentos prévios de programação. Os jogos criados com o KitVision mantêm a linguagem de especificação com base em marcadores XML, gerando essa especificação de forma transparente para o usuário.

O KitVision é um trabalho relevante por ser uma ferramenta de autoria que facilita o processo de produção de aplicações para mesa tangível, disponibilizando o aplicativo para download e instalação. Apesar de apresentar algumas limitações e eventuais falhas, permite a criação de aplicações e jogos simples.

#### 4.5 TOYVISION

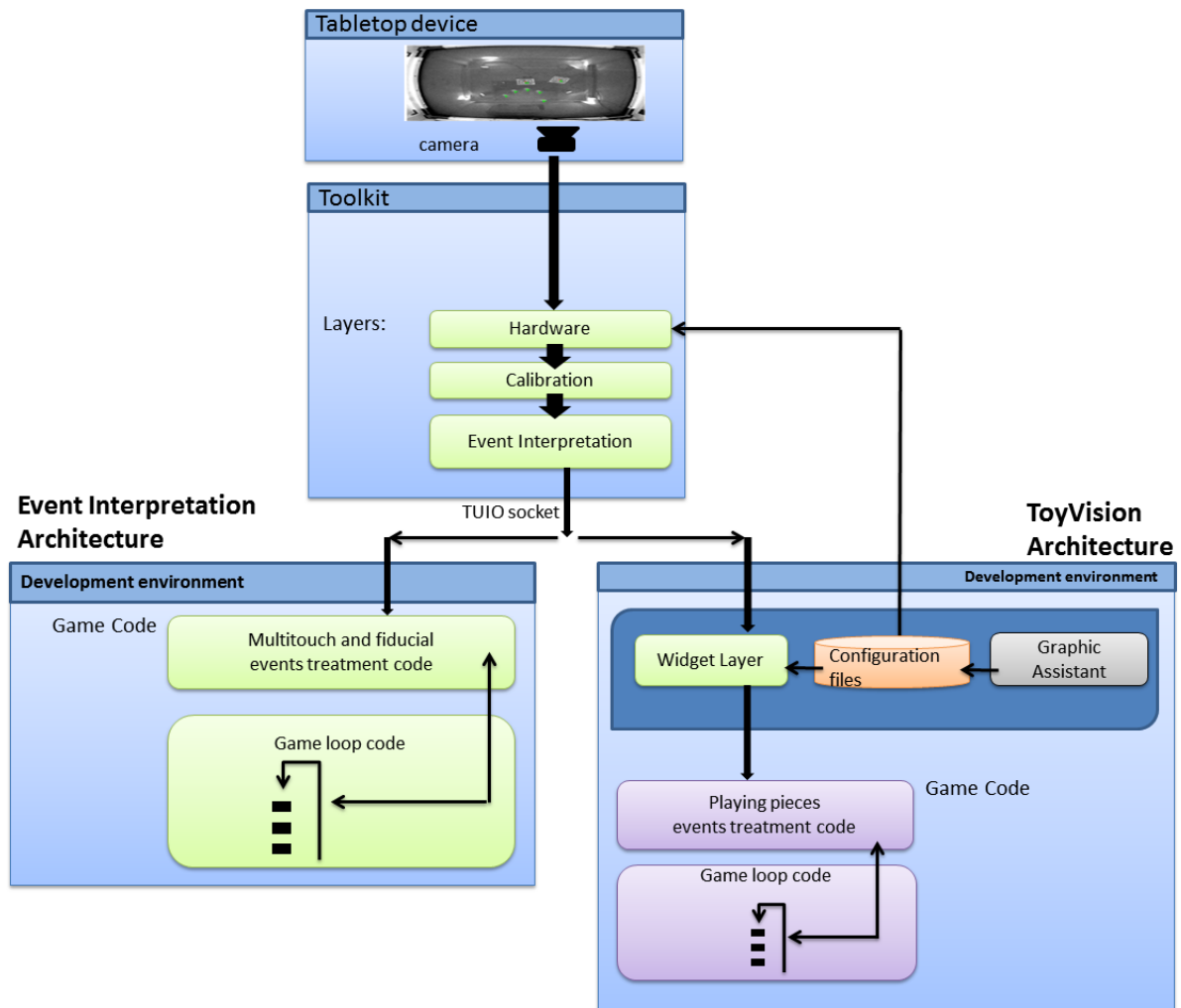
ToyVision (MARCO, CEREZO, *et al.*, 2012) é um kit de ferramentas de software que permite a criação de protótipos de jogos em mesas de interação tangível, fornecendo aos desenvolvedores ferramentas intuitivas para modelar controles tangíveis. O ToyVision é orientado para a criação de protótipos de jogos de mesa em ambientes de desenvolvimento do Action Script 3 (Adobe Flash, Air e Flex).

A arquitetura proposta (fig. 22) apresenta as camadas Hardware, Calibração e Interpretação de eventos. É baseada no reacTIVision, no entanto, novas funcionalidades foram adicionadas na camada Hardware, a fim de suportar a identificação de novas categorias de objetos. Além disso, uma ferramenta de Assistente Gráfico foi desenvolvida para permitir que o designer modele facilmente cada controle tangível envolvido no jogo de mesa. Este Assistente



gráfico produz os arquivos de configuração necessários para o kit de ferramentas para identificar e modelar todas as peças em execução. Outro recurso do ToyVision é a camada Widget, criada para oferecer suporte à alta abstração de codificação de jogos no ambiente de desenvolvimento do Action Script 3.

Figura 22 – Arquitetura do ToyVision



Fonte: (MARCO, CERESO, *et al.*, 2012)

Originalmente, a camada de hardware do reactIVision suporta apenas o sensor visual de mesa através de uma câmera digital. No ToyVision, a camada de hardware foi atualizada para oferecer suporte à comunicação com componentes eletrônicos incorporados nas peças de jogo, com suporte à plataforma Arduino, permitindo que uma ampla variedade de componentes eletrônicos seja facilmente conectada via USB ou Bluetooth. Assim, ToyVision oferece suporte para implementar manipulações ativas de peças de jogo (MARCO, CERESO, *et al.*, 2016).

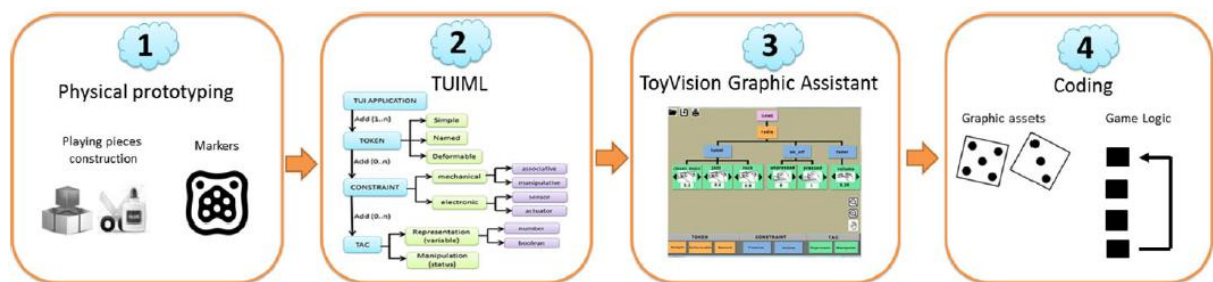
Possui um assistente gráfico que permite ao designer modelar visualmente cada peça do jogo, que é automaticamente traduzida para a linguagem XML e armazenada internamente no

ToyVision. Esses modelos fornecem todos os dados exigidos pela camada Widget para desempenhar sua função. O gerenciador do Widget rastreia os marcadores fiduciais, objetos ou gestos dos dedos do usuário na mesa, provenientes da camada Interpretação de Eventos e identifica como esses eventos estão relacionados à manipulação de peças de reprodução, que são passíveis de interações.

A nova camada de abstração do Widget oferece as ferramentas de programação necessárias aos desenvolvedores para acessar o status de todas as peças de jogo, colocadas na superfície da mesa. A camada Widget do ToyVision foi integrada no ambiente de desenvolvimento Action Script 3, permitindo o uso dessa camada com outros kits de ferramentas de mesa, desde que eles usem o mesmo protocolo de comunicação (TUIO).

A prototipagem (fig. 23) de um aplicativo de mesa tangível com o ToyVision começa com a criação manual ou a adaptação de objetos convencionais com um marcador impresso (fiducial) anexado à sua base, para ser identificado e rastreado. Além disso, ele deve ser representado visualmente no TUIML com as respectivas restrições e relacionamentos. A programação consiste basicamente em fornecer feedback visual e de áudio em resposta às ações do jogador, de acordo com a lógica predefinida para o jogo. O artigo demonstra que o ToyVision tem sido eficaz na redução do limiar do desenvolvimento de aplicativos para dispositivos de mesa, além de ser suficientemente expressivo para dar suporte a conceitos inovadores para jogos híbridos que exploram as possibilidades tangíveis de peças de jogo convencionais.

Figura 23 – Processo de criação de um aplicativo com ToyVision



Fonte: (MARCO, CEREZO, *et al.*, 2016)

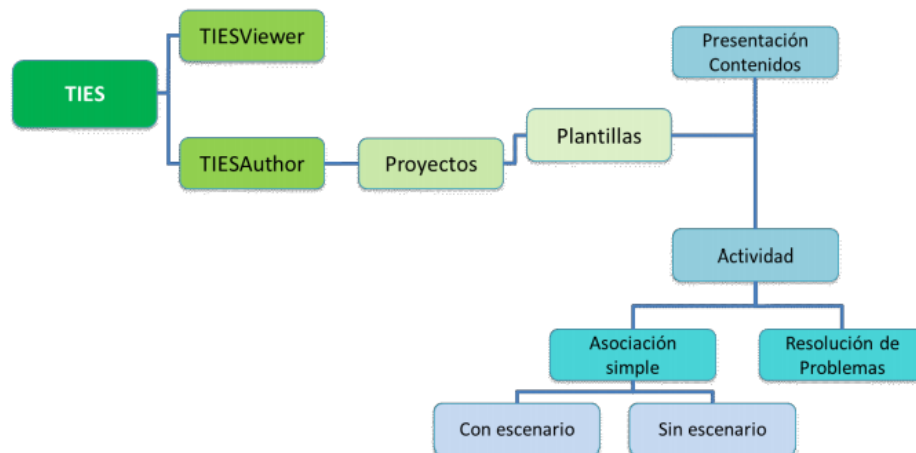
Comparado a outros kits de ferramentas de software que oferecem possibilidades tangíveis relativamente limitadas ou centradas em etiquetas RFID ou componentes eletrônicos, o ToyVision oferece aos desenvolvedores ferramentas intuitivas para utilizar objetos e modelar controles com uma riqueza maior de interação em mesas tangíveis. A restrição ao seu uso é que

ele é baseado em Action Script, o que inviabiliza ou complica a sua utilização e integração com outras linguagens de programação e soluções.

#### 4.6 TIES: TANGIBLE INTERACTION IN EDUCATIONAL SCENARIO

TIES - *Tangible Interaction in Educational Scenario* (ARTOLA, SANZ, *et al.*, 2015) é uma ferramenta de autoria para criação de atividades educacionais baseadas em interação tangível, formada por um editor (TIESAuthor) e um visualizador (TIESViewer) que executa as aplicações numa mesa tangível (fig. 24). O editor permite criar projetos baseados em modelos específicos para apresentar conteúdo ou realizar atividades interativas com associações e resolução de problemas.

Figura 24 – Arquitetura do TIES



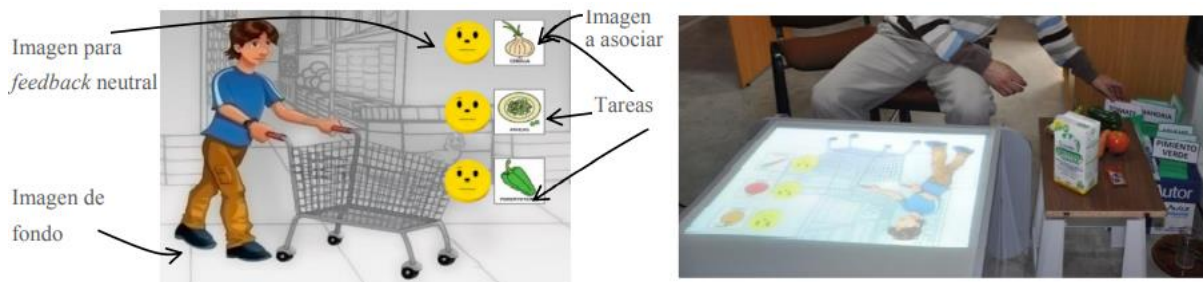
Fonte: (ARTOLA, SANZ, *et al.*, 2015)

As principais características são:

- possibilidade de configuração de imagens e associar com os objetos tangíveis numa atividade;
- possibilidade de configurar diferentes tipos de feedback visual e sonoro de erro, acerto e neutro nas atividades;
- permite uso de áudio, vídeo, imagens e texto e imagens de fundo nas atividades;
- permite configurar o encadeamento e sequenciação das atividades; e
- permite a realização de atividades de forma individual, colaborativa ou no formato de jogo de competência.

TIESViewer foi desenvolvido com Adobe Flash Builder e ActionScript 3, com execução em Adobe AIR3. TIESAuthor foi desenvolvido em PHP, utilizando Laravel e Bootstrap. É uma ferramenta relativamente simples para criar aplicações para mesa tangível, com modelos pré-definidos de tipos de atividade, mas com os elementos principais que uma aplicação tangível requer. Isso permite que o educador facilmente configure os elementos da aplicação, apesar de limitar os tipos de aplicações que podem ser criadas. A figura 25 apresenta um exemplo de aplicação.

Figura 25 – Exemplo de aplicação no TIES



Fonte: (ARTOLA, SANZ, *et al.*, 2015)

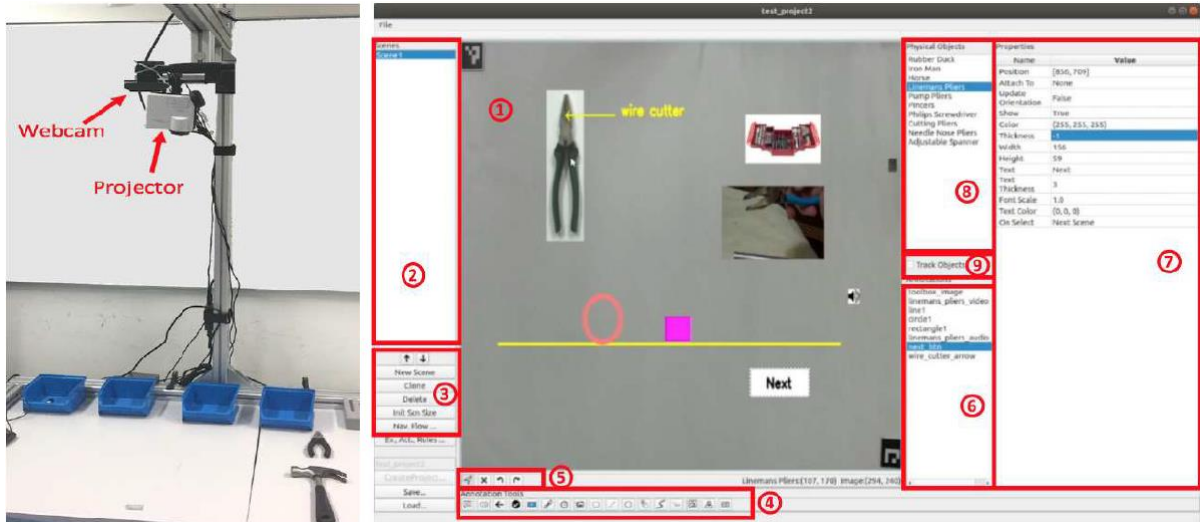
#### 4.7 ISAR: AN AUTHORING SYSTEM FOR INTERACTIVE TABLETOPS

O ISAR (HODAIE, HALADJIAN, *et al.*, 2019) é um sistema com uma configuração de câmera e projetor (mini ou pico projetor), um sistema de autoria para a criação de aplicativos, um ambiente de execução para a execução de aplicativos e os utilitários para a criação de pacotes de reconhecimento e rastreamento de objetos. Neste sistema, o projetor e a câmera devem ser colocados acima da mesa.

O modo de criação fornece um ambiente WYSIWYG (o que você vê é o que você obtém) para o criador do aplicativo, que pode visualizar as cenas exatamente como seriam projetadas na mesa no modo de autoria. As interações definidas e o rastreamento de objetos também podem ser testados exatamente como seriam usados no modo de execução. O criador do aplicativo visualiza a imagem da câmera no visualizador de cena, onde é possível adicionar, excluir ou alterar a ordem das cenas e definir um fluxo de navegação padrão. As anotações podem ser adicionadas à cena usando as ferramentas de anotação. Ao selecionar uma anotação na cena ou na lista de anotações, suas propriedades são exibidas. Além disso, cada tipo de anotação possui um conjunto diferente de propriedades que podem ser alteradas dinamicamente

na visualização de propriedades. A figura 26 apresenta a configuração de projetor e câmera e o ambiente de autoria do ISAR.

Figura 26 – Configuração de projetor e câmera e ambiente de autoria do ISAR



Fonte: (HODAIE, HALADJIAN, *et al.*, 2019)

A visão de objetos físicos exibe uma lista de todos os objetos físicos que podem ser reconhecidos e rastreados com base no reconhecimento de objetos existentes instalados e nos pacotes de rastreamento. O criador do aplicativo adiciona um objeto físico à cena arrastando e soltando-o na cena. Soltar um objeto físico na cena renderiza sua imagem de modelo. Se a anotação for anexada ao objeto físico, sua posição será em relação à imagem do modelo. Assim, o criador do aplicativo pode testar diretamente o aplicativo a partir do ambiente de autoria.

ISAR é implementado em Python e permite o rastreamento de objetos sem marcadores e com marcadores ArUco (ROMERO-RAMIREZ, MUÑOZ-SALINAS, *et al.*, 2018). O aplicativo criado com ISAR é empacotado e compactado para ser executado no ambiente de execução, com uma pasta no sistema de arquivos que contém os elementos: arquivo JSON com a descrição dos elementos do projeto, os arquivos de mídia (imagens, áudios e vídeos) e os plugins de rastreamento dos objetos.

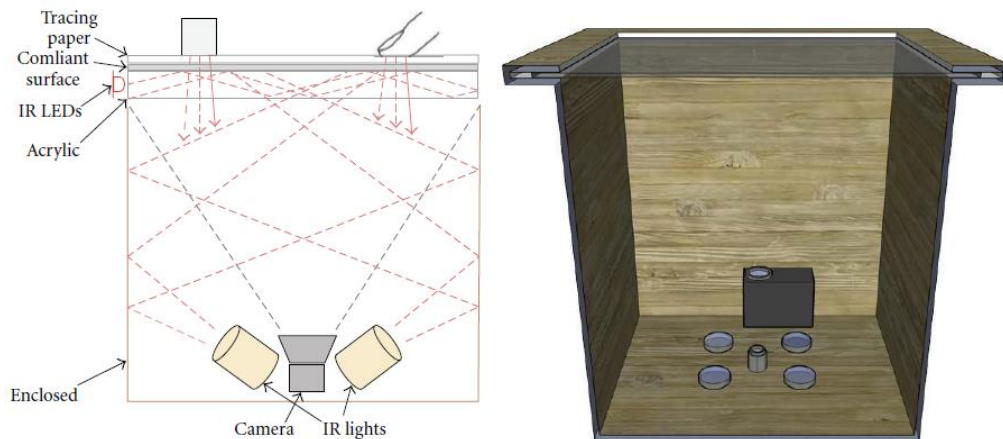
ISAR é uma ferramenta de autoria que permite a utilização de objetos reais com e sem marcadores fiduciais, para ser utilizada numa mesa tangível com a câmera posicionada sobre a mesa. Por permitir maior flexibilidade na escolha e uso dos objetos da aplicação, apresenta uma complexidade maior para a criação das aplicações.

#### 4.8 ROBOTABLE

RoboTable (MI, KRZYWINSKI, *et al.*, 2012) é uma infraestrutura que combina a interação de mesa com TUIs para oferecer suporte à interação intuitiva com robôs móveis. Essa estrutura pode criar um ambiente de realidade mista no qual a interação com robôs reais e objetos virtuais pode ser combinada. Esse recurso estende a entidade do robô para o mundo virtual, permitindo que interações humano-robôs (HRI) ricas e complexas sejam suportadas em vários aplicativos. RoboTable permite criar jogos atraentes e aplicativos educacionais divertidos, que fornecem feedback instantâneo e intuitivo ao usuário, facilitando ainda mais a experiência de entretenimento ou aprendizado.

Para criar uma mesa (fig. 27) que suporta tanto o rastreamento por robô quanto a entrada multitoque, foi implementada uma combinação de duas técnicas diferentes de rastreamento: reflexão interna total frustrada (FTIR) e iluminação difusa (DI). Uma placa de acrílico transparente de 10 mm é aplicada como superfície da mesa. Uma faixa de LEDs infravermelhos (IR) é colocada na lateral da placa de acrílico para gerar a luz necessária para o FTIR. Sobre essa superfície, aplicamos duas finas camadas de filme plástico revestido de silicone para formar uma superfície compatível e um pedaço de papel vegetal para atuar como difusor. Quatro iluminadores IR fixados na parte inferior da placa de base criam um campo de luz dentro da mesa para rastreamento de DI. A combinação das duas técnicas, nas quais o DI ajudou no rastreamento de objetos e no reconhecimento aprimorado do toque do dedo pelo FTIR, permite que ambos os objetivos de rastreamento sejam alcançados.

Figura 27 – Estrutura da mesa



Fonte: (MI, KRZYWINSKI, *et al.*, 2012)

Um projetor de curta distância (Benq MP522T) é montado embaixo da superfície para gerar uma área de projeção de 870 x 652 mm. Um filtro de bloqueio de infravermelho é aplicado à lente do projetor para reduzir a emissão de IR pela lâmpada do projetor. Uma câmera Firefly MV B/W (640 × 480 a 60 qps) é montada no centro da placa de base com um filtro de passagem de banda IR. Em combinação com um software de rastreamento específico, esta mesa atinge uma resolução de rastreamento de 1,36 mm / pixel para dedos e objetos.

O RoboTable utiliza um robô móvel simples, não autônomo, com um microcontrolador que abrange controle de movimento de baixo nível, enquanto a estratégia de nível superior e o planejamento de caminho ocorrem no console remoto do sistema RoboTable. O robô deve ser esteticamente agradável e "palpável" e tem um tamanho reduzido e é altamente manobrável para se movimentar sobre a mesa, com a placa de base ficando o mais próximo possível da mesa, devido ao rastreamento de DI. Usa uma implementação de duas rodas, com um motor DC independente em cada roda para avançar, retroceder e girar. Cada robô possui um marcador fiducial na placa de base para serem rastreados pelo ReacTIVision, através da imagem da câmera.

A comunicação entre o robô e o servidor no sistema RoboTable é através de Bluetooth, com um mecanismo automático de configuração de conexão, para que um robô possa ser introduzido ou ser removido do ambiente a qualquer momento. O robô usa um microcontrolador (PIC16F886) como a unidade de controle principal, que recebe comandos e envia respostas ao servidor e aciona cada motor, de acordo com os comandos recebidos.

Todos os componentes de software do RoboTable são desenvolvidos em Java e utilizam o reacTIVision e o MultiTouch for Java (MT4J) para lidar com os eventos TUIO, incluindo toques e objetos. Ele também fornece um mecanismo de renderização 2D e 3D baseado na tecnologia OpenGL. A estrutura com MT4J permite alguns gestos comuns, como arrastar, girar e aplicar zoom.

A estrutura do RoboTable permite a criação de uma interface intuitiva para a programação de robôs para diferentes tarefas. Através da programação e interação lúdica com robôs em uma mesa, os estudantes podem aprender conceitos e princípios em diferentes disciplinas, como matemática e física, em diferentes níveis educacionais, enquanto aprendem a pensar de maneira criativa, raciocinar sistematicamente e trabalhar em colaboração.

A principal limitação dessa solução é que ela exige o uso dos próprios robôs e não permite a utilização de outros objetos tangíveis sobre a mesa. Além disso, a programação das



aplicações é baseada em Java, o que dificulta o desenvolvimento de aplicações por quem não domina as técnicas e lógica de programação.

#### 4.9 EXPERIMENTOS COM MESA TANGÍVEL

Há várias publicações envolvendo experimentos e propostas de uso de mesa tangível em diversos contextos e com o emprego de diferentes produtos e técnicas. O quadro 1 apresenta os principais experimentos relacionados com mesa tangível que também utilizam rastreamento de objetos tangíveis baseados em visão computacional, com uma breve descrição e os principais resultados e contribuições que, de algum modo ou outro, se relacionam com este trabalho. Neles, é possível observar a importância do feedback (visual, háptico e de áudio), o uso de mesas tangíveis para compreensão de conceitos abstratos, a necessidade de uso de tangíveis inteligentes em alguns tipos de aplicações e que o uso de componentes reais e virtuais tornam o processo interativo mais rico e abrangente. Além disso, é possível observar as tecnologias de mesa tangível utilizadas, especialmente o uso do reacTIVision ou CCV ou de mesas comerciais Microsoft Surface, Samsung SUR 40 ou MultiTaction.

Quadro 1 – Principais experimentos com mesa tangível

<b>Trabalho/autor</b>	<b>Descrição</b>	<b>Resultados</b>
Tangible mtDNA (MANSHAEI, BAIG, <i>et al.</i> , 2017)	Sistema de objetos tangíveis ativos ( <i>smart watches</i> ) para exploração de dados de sequenciamento de DNA mitocondrial em pacientes com câncer	Uso de plataforma baseada na Web, com HTML, CSS, JavaScript, Node.js e Python numa mesa MultiTaction
Immertable (BALDASSARRI, CERZO, <i>et al.</i> , 2017)	Mesa tangível para controle interativo audiovisual e musical que explora a interação tangível ativa na mesa tangível e nos gestos do usuário com sistema reacTIVision e sensores Kinect e Leap Motion.	O processamento dos marcadores fiduciais tem algum atraso, o que não é aceitável na música em tempo real
ImmertableApp (BALDASSARRI, MARCO, <i>et al.</i> , 2016)	Interface baseada em interação tangível para a edição de áudio, gerenciada por controladores físicos (atuadores Arduino), baseada no NIKVision (com reacTIVision) e processado pelo ToyVision	Os controladores executam ações de controle musical com melhor tempo de resposta e feedback que os sistemas baseados em visão computacional
Surface Air Hockey (ANDALAM, ARUNTHAVASO THY, <i>et al.</i> , 2016)	Propõe o conceito de tangíveis inteligentes, que fornecem feedback vibratório-háptico ao usuário uma mesa Samsung SUR40, com programação em C# e PixelSense	Os tangíveis inteligentes tiveram um impacto positivo na imersão do jogo e são viáveis, aumentando o realismo do jogo e a imersão dos jogadores
Mapping Place (CHU, CLIFTON, <i>et al.</i> , 2015)	Interações tangíveis para exposições em museus de modo que as crianças criem e compartilhem suas próprias histórias numa mesa tangível com CCV e reacTIVision	Mostrou que fundamentar a experiência no conhecimento contextualizado pode melhorar a compreensão de conceitos abstratos
Combinatorix (SCHNEIDER, BLIKSTEIN, <i>et al.</i> , 2012)	Ajudar os alunos a explorar, resolver e entender problemas de probabilidade com aplicativo em Java, reacTIVision e a biblioteca wrj4P50 para a comunicação com o wiimote	Como interfaces de mesa tangíveis, que mapeiam objetos tangíveis para conceitos abstratos podem melhorar as habilidades de resolução de problemas

continua...



Quadro 1 – Principais experimentos com mesa tangível - continuação

(RODRIGUES, SATO, <i>et al.</i> , 2012)	Propõe a integração de técnicas de Realidade Aumentada (RA) com mesa tangível, misturando componentes reais e virtuais	Misturar componentes reais e virtuais torna o processo interativo mais rico e mais abrangente. Utiliza CCV e TUIO
(MCADAM, BREWSTER, 2011)	Estudo sobre o uso de diferentes modalidades no fornecimento de feedback em uma Microsoft Surface e um smartphone	O feedback tátil e de áudio é tão ou mais benéfico que o feedback visual e também era o preferido pelos participantes
TurTan (GALLARDO, D., JULIA, <i>et al.</i> , 2008)	Linguagem de programação tangível inspirada no Logo para programação de brinquedos numa mesa tangível semelhante à Reactable com reacTIVision	TurTan é fácil de entender e pode constituir uma boa plataforma para o aprendizado de algumas habilidades básicas da linguagem de programação para crianças

Fonte: do autor

Como foi possível observar nestes experimentos, um deles utilizou uma mesa tangível comercial MultiTaction, que tem um alto custo e a programação foi com tecnologia web, que exige conhecimento técnico. Outros dois experimentos utilizara as mesas Microsoft Surface e Samsung SUR 40, que não estão mais disponíveis no mercado, com programação do próprio framework. Isto resulta num produto com excelente qualidade e uma grande precisão na interação com as mesas tangíveis, porém a um alto custo e exigência de equipe de programação. Os demais experimentos utilizam uma mesa tangível montada com projetor e webcam, baseadas em visão computacional. Cinco utilizam o reacTIVision e dois utilizam o CCV. Isso demonstra a viabilidade e utilidade das mesas tangíveis.

#### 4.10 FRAMEWORKS PARA MESA TANGÍVEL

Algumas pesquisas buscaram propor e desenvolver frameworks para facilitar a prototipagem e desenvolvimento de aplicações para mesa tangível. Apesar de facilitar o desenvolvimento, abstraindo detalhes de implementação, as propostas fornecem mecanismos que ainda exigem um alto grau de conhecimento técnico e lógica de programação. O quadro 2 apresenta o COPSE, o TULIP e o GAINÉ, que são os principais frameworks para mesa tangível, baseados em rastreamento de objetos por visão computacional.

Quadro 2 – Principais frameworks para mesa tangível

<b>Trabalho/autor</b>	<b>Descrição</b>	<b>Resultados</b>
COPSE (MAQUIL, TOBIAS, <i>et al.</i> , 2017)	Estrutura de software para instanciar os Microworlds como atividades colaborativas de solução de problemas em interfaces de mesa tangíveis.	Confirmou o interesse dos educadores em mesas tangíveis e a necessidade de ser implementada uma interface de autoria, baseada na Web, para fornecer uma maneira visual de criar os arquivos de configuração
TULIP (TOBIAS, MAQUIL, <i>et al.</i> , 2015)	Estrutura de software para interfaces de mesa tangíveis que usa uma camada de abstração para permitir o desenvolvimento rápido de aplicativos.	É usado sobre as estruturas existentes de hardware e visão computacional e atende principalmente à camada de representação intangível do modelo MCRit (ULLMER, B., ISHII, 2000)
GAINÉ - (BOTTINO, MARTINA, <i>et al.</i> , 2015)	Estrutura de software que permite a rápida criação de protótipos e desenvolvimento de jogos de mesa interativos, oferecendo aos desenvolvedores construções de alto nível específicas do contexto e uma linguagem de script simples que simplifica a tarefa de implementação.	Utiliza uma mesa tangível com IR FTIR e DI, pois essa combinação fornece um rastreamento mais robusto, uma vez que o DI pode rastrear de forma confiável os fiduciais e o FTIR oferece uma solução melhor para rastrear toques e movimentos rápidos dos dedos na superfície da mesa com reacTIVision e TUIO.

Fonte: do autor

O COPSE é um framework para uma abordagem bem específica e não é adequado para servir de base para a criação de uma plataforma como a que está sendo proposta. TULIP e GAINÉ são frameworks que tem potencial para serem utilizados no processo de criação de aplicações para mesas tangíveis, porém apresentam estruturas pré-definidas e não apresentam a liberdade de criar recursos novos e integrar com outras tecnologias. Assim, eles exigem conhecimento técnico para criar as aplicações tangíveis, mas não são adequados para criar uma plataforma digital como a que está sendo proposta, que objetiva criar uma ferramenta que permita a construção de aplicações de modo fácil e intuitivo pelos usuários, sem a necessidade de conhecimento técnico de lógica de programação.

#### 4.11 MESA TANGÍVEL PARA EDUCAÇÃO E ATIVIDADES COLABORATIVAS

A vantagem da interação tangível é que ela permite que as pessoas interajam naturalmente, pois as mesas tangíveis são um suporte coletivo que pode ser usado por várias pessoas simultaneamente (BOUABID, LEPREUX, *et al.*, 2017). As mesas interativas suportam interação social e colaboração, permitindo que os grupos formem um círculo em torno deles, compartilhando informações e participando de atividades de maneira semelhante às mesas convencionais. Sua orientação horizontal permite uma participação mais equitativa em grupos (MCCRINDLE, HORNECKER, *et al.*, 2011). As TUIs têm potencial como ambientes de aprendizado novos e inovadores para mapear aplicativos em uma ampla gama de atividades

pois oferecem uma interface mais natural e intuitiva aos usuários e são fáceis e diretos para aprender e lembrar como usar (JONES, MAQUIL, 2016).

As tecnologias tangíveis podem beneficiar o aprendizado de várias maneiras pois as TUIs são interfaces naturais que requerem pouco esforço cognitivo para o estudante, especialmente as crianças, que podem se concentrar mais em tarefas concretas do que em aprender a usar o teclado ou o mouse. As TUIs podem oferecer uma variedade de interações, permitindo que os usuários resolvam problemas com objetos físicos concretos e ações físicas, ao invés de representações mais abstratas e sintaxe complexa. Ações rápidas e incrementais e reversíveis, cujo impacto no objeto de interesse é imediatamente visível, ajudam o estudante a investigar o ambiente intuitivamente, sem temer o novo ambiente. Além disso, uma TUI não se limita a um único usuário, pois as crianças podem sentar-se à mesa interativa e colaborar com os amigos de um modo natural, fornecendo uma experiência social real que facilita o aprendizado (O'MALLEY, FRASER, 2004).

Há quatro efeitos sociais de interfaces tangíveis que facilitam a cooperação (HORNECKER, E., 2001):

- a) Elas atuam como um facilitador para manipulação intuitiva e simultânea: as interfaces tangíveis diminuem a barreira do uso inicial e permitem executar a tarefa real de coordenação, em vez de investir esforços no manuseio da ferramenta;
- b) Maior foco: as interfaces tangíveis também são facilitadoras reconhecidas ao se concentrar em um tópico de coordenação para todos os indivíduos envolvidos, tornando a representação física um ponto de interação espacialmente espacial e criando um espaço transacional dessa maneira.
- c) percepção de gestos e performativas de ações: a configuração em torno da interface também facilita a comunicação de sinais não verbais e a performance das ações de outros indivíduos. A representação física também enriquece a comunicação além da expressão verbal, permitindo a referência gestual de aspectos das informações compartilhadas.
- d) facilitam a externalização: a representação compartilhada fisicamente atua como um objeto de fronteira, fornecendo uma âncora para o desenvolvimento do entendimento compartilhado entre os indivíduos envolvidos.

Várias pesquisas exploram e demonstram a viabilidade e vantagens do uso de mesa tangível para educação e atividades colaborativas, conforme descrição no quadro 3. Nesses

experimentos, é possível observar a utilidade das mesas tangíveis para apoiar a aprendizagem e para promover o diálogo e a colaboração, com benefícios significativos.

Quadro 3 – Pesquisas de uso de mesa tangível para educação e atividades colaborativas

<b>Trabalho/autor</b>	<b>Descrição</b>	<b>Resultados</b>
(PONTUAL FALCÃO, DACKERMANN, <i>et al.</i> , 2018)	Envolve manipuladores matemáticos e interfaces tangíveis e apresenta o desenvolvimento de um treinamento de competências numéricas básicas para crianças em idade pré-escolar	O uso de manipuladores físicos pode aumentar as competências numéricas básicas das crianças em idade pré-escolar e enriquece o aprendizado de matemática. Mostrou necessidade de mecanismos de feedback mais sofisticados, por exemplo, para lembrar as crianças dos objetivos ou das regras da tarefa
(KUBICKI, PASCO, <i>et al.</i> , 2016)	Uso de uma interface de mesa tangível para o desenvolvimento da aprendizagem do aluno em habilidades de raciocínio espacial e um jogo sério em matemática.	Que os alunos melhoraram seu desempenho jogando na mesa tangível e colaboraram por meio de externalização e consenso orientado a conflitos
Tomb of Osiris (LIMBU, MAQUIL, <i>et al.</i> , 2015)	Jogo colaborativo para mesa tangível, baseado em desafios para promover a colaboração e a motivação em um cenário de resolução de problemas	Resolução complexa de problemas pode ser melhor explorada de modo colaborativo
<i>Emergent Dialogue</i> (ANTLE, WARREN, <i>et al.</i> , 2014)	Uso de jogos digitais para mudança social incentiva as crianças a discutir seus valores durante a interação com informações factuais em um jogo.	As diretrizes de modelo e design são eficazes para apoiar o diálogo, baseado em valores durante o jogo colaborativo.
(FAN, ANTLE, <i>et al.</i> , 2014)	Estratégia de design para incentivar a colaboração, numa atividade de planejamento colaborativo de uso sustentável da terra.	Mesas digitais e tangíveis têm potencial para apoiar a interação colaborativa, suportando uma participação verbal e física mais equitativa.
AGORAS (CATALA, JAEN, <i>et al.</i> , 2011)	Ambiente de aprendizagem baseado em mesas tangíveis para apoiar o aprendizado criativo.	Sujeitos foram mais produtivos em termos do número de soluções obtidas usando a abordagem não mediada por computador. No entanto, usando a abordagem de mesa digital, os sujeitos projetam, em média, soluções mais complexas ou elaboradas.
(STARCIC, ZAJC, 2011)	Design e a avaliação de um aplicativo de aprendizado interativo para os conceitos de adição, utilizando TUI numa mesa compacta (30x30x16cm)	As TUIs podem proporcionar benefícios significativos para a educação, permitindo que as crianças trabalhem com objetos físicos reais suplementados com poder de computação, sendo muito útil e de baixo custo, que o tornam ideal para uso nas escolas.
(MARCO, BALDASSARRI, <i>et al.</i> , 2010)	A construção de um protótipo de mesa tangível adequado para crianças, que participaram do projeto de criação de um jogo de contar histórias sobre a fazenda, opinando e testando o jogo.	A experiência mostrou que é importante envolver os “especialistas” no processo de desenvolvimento, ou seja, o público-alvo da atividade
(FALCÃO, PRICE, 2009)	Atividade colaborativa em um ambiente de mesa tangível para apoiar o aprendizado sobre a física da luz.	A mesa contribuiu para criar um ambiente altamente colaborativo levando o grupo a um processo produtivo de exploração coletiva e construção de conhecimento.
TANENBAUM, ANTLE, 2008)	Implementação de protótipo de um aplicativo de mesa tangível para criar mapas conceituais.	Conexão entre atividade física e mental é um dos benefícios do uso de um sistema tangível para aplicativos orientados à aprendizagem e as interfaces tangíveis servem para apoiar o aprendizado e a atividade mental através de manipulações físicas

Fonte: do autor

As principais vantagens proporcionadas pelas interfaces tangíveis para a educação são o engajamento sensorial, pois as crianças aprendem de forma natural, usando vários sentidos (toque, visão e audição) em um processo construtivo que aumenta a aprendizagem; a acessibilidade, pois as interfaces tangíveis fornecem mais opções para crianças com necessidades educacionais especiais; e a aprendizagem em grupo, pois as interfaces tangíveis facilitam o trabalho colaborativo e as discussões. Estes experimentos demonstram a viabilidade e utilidade das mesas tangíveis no contexto educacional, contribuindo para criar um ambiente colaborativo.

#### 4.12 USO DE MESA TANGÍVEL COM PESSOAS COM DEFICIÊNCIA

Os ambientes tangíveis expandem as possibilidades de fornecer auxílios nos processos de aprendizagem, pois acoplam representações digitais dinâmicas a objetos físicos. Isso é particularmente útil no caso de crianças com deficiência intelectual ou autismo.

O trabalho de (CEREZO, COMA, *et al.*, 2019) apresenta um estudo sobre o transtorno do déficit de atenção e hiperatividade (TDAH) envolvendo mesas tangíveis para crianças com TDAH. Os resultados das sessões de avaliação realizadas em conjunto com uma associação de TDAH foram complementados com um estudo aprofundado de suas características e necessidades especiais. Vários jogos são desenvolvidos e testados, utilizando uma mesa tangível Nikvision (MARCO, BALDASSARRI, *et al.*, 2013). A partir disso, apresenta um conjunto de orientações para o planejamento de atividades de mesa tangíveis e aplicáveis ao design de qualquer aplicativo interativo orientado para crianças com TDAH. Baseia-se no modelo PASS - Planejamento-Atenção-Simultâneo-Sucessivo (Naglieri e Das, 1988), que combina aspectos neurológicos, psicológicos e educacionais e ajuda a entender como as crianças se comportam durante seu processo de aprendizagem. As orientações propostas no trabalho são:

- O nível de dificuldade do jogo deve ser adaptável.
- O objetivo do jogo e como alcançá-lo devem ser claros.
- O jogo deve ajudar as crianças a ficarem atentas às horas.
- As possibilidades de manipulação da mesa precisam ser potencializadas.
- O jogo deve ser totalmente controlável pelo educador.
- O jogo deve promover a busca de informações e a identificação de alternativas.
- Feedback positivo e encorajador deve sempre ser dado.
- O interesse e a motivação devem ser mantidos através de vários estímulos.
- Os jogos devem melhorar a atenção seletiva.
- O jogo deve promover a colaboração para resolver os problemas. (CEREZO, COMA, *et al.*, 2019, p. 38)

O trabalho também apresenta as recomendações de estudos anteriores que são:

- As instruções devem ser claras e oferecer a possibilidade de serem reproduzidas.
- Os objetos devem ser facilmente identificáveis pelas crianças.
- Quando há um tempo limitado para concluir uma tarefa, isso deve ser claramente indicado.
- O educador deve ser capaz de controlar o jogo inteiro, incluindo a possibilidade de repetir todas as tarefas.
- Considerar cuidadosamente o número de elementos para memorizar e o tempo para assimilá-los. O tempo deve ser estabelecido pelo educador.
- O jogo deve promover a colaboração para resolver os problemas.
- Concentre-se especificamente na atenção e no planejamento seletivos.
- Desenvolver atividades que tragam desafios cognitivos às crianças, estimulando sua atenção e seu potencial de desenvolvimento.
- Desenvolver atividades que favoreçam a reflexão sobre as consequências de suas ações, considerando alternativas e compartilhando seus pontos de vista com os outros.
- Aproveite ao máximo as possibilidades de manipulação da mesa como um recurso para favorecer a aprendizagem, o interesse, o envolvimento e a motivação das crianças.
- O desenho da interação tecnológica deve facilitar a manutenção da atenção e do interesse, favorecendo a regulação da impulsividade.
- A mediação deve estimular a interação entre colegas e com a pessoa que facilita a mediação.
- O desenho tecnológico deve ser flexível e permitir a intervenção positiva do mediador, se necessário, adaptando-se a cada situação específica do processo de aprendizagem e da atitude da criança. (CEREZO, COMA, *et al.*, 2019, p. 36)

O quadro 4 apresenta outros trabalhos relevantes envolvendo o uso de mesa tangível em atividades para pessoas com deficiência. Nele, é possível observar a utilidade de atividades tangíveis em atividades terapêuticas e educacionais que podem explorar a interação social e a interação física para a reabilitação cognitiva e física. Além disso, é ressaltada a importância do feedback e a mediação humana nessas atividades.

Quadro 4 – Principais experimentos de uso de mesa tangível com pessoas com deficiência

<b>Trabalho/autor</b>	<b>Descrição</b>	<b>Resultados</b>
(BONILLO, BALDASSARRI, <i>et al.</i> , 2019)	Avalia as potencialidades de mesas tangíveis para terapia de crianças com problemas de desenvolvimento, envolvendo atenção visual, habilidades psicomotoras, coordenação bilateral e habilidades cognitivas.	Os terapeutas envolvidos confirmaram a utilidade das atividades, pois as crianças se sentiram muito motivadas para usá-las.
(CHEN, WANG, <i>et al.</i> , 2019)	Um método de base tecnológica, utilizando jogos de computador para avaliar o desenvolvimento crianças com TEA, auxiliando no diagnóstico clínico e intervenção educacional.	Os jogos de computador têm um grande potencial no campo da educação especial como uma ferramenta de avaliação para esclarecer as dificuldades associadas ao autismo

continua...

Quadro 4 – Principais experimentos de uso de mesa tangível com pessoas com deficiência - continuação

(FALCÃO, 2018)	Estudos empíricos envolvendo crianças com deficiência intelectual em processo de descoberta, usando uma mesa interativa tangível com uma quantidade substancial de feedback	O potencial de mesas tangíveis para as ações exploratórias dos alunos, especialmente a importância do feedback do sistema, embora a mediação humana ainda seja necessária para crianças com deficiência intelectual, apesar das capacidades de feedback de ambientes tangíveis.
(BALDASSARRI, PASSERINO, <i>et al.</i> , 2018)	Apresenta duas experiências com jogos interativos em mesas tangíveis para promover a comunicação e a atenção, a concentração e a satisfação das crianças em atividades cognitivas.	É possível trabalhar a interação social a partir de uma mesa tangível e apontam que as crianças com TEA não trabalham cooperativamente, mas executam tarefas individuais. Detectar emoções e empatia com o personagem do jogo e com o companheiro de brincadeira no jogo cooperativo, ajudaria na mediação tecnológica proposta pelo jogo, para garantir a interação e o aprendizado colaborativo.
(CEREZO, MARCO, <i>et al.</i> , 2015)	Descreve o processo de criação de um jogo de mesa tangível para crianças do jardim de infância, envolvendo aspectos físicos, virtuais e sociais.	Os personagens virtuais podem ser eficazes, mas não devem ser desenvolvidos como substitutos do papel motivador e orientador dos educadores. O feedback deve ser emocional, ou seja, parecer triste por feedback negativo e rir e dançar por feedback positivo
E-CORE - (JUNG, KIM, <i>et al.</i> , 2013)	É um sistema de reabilitação cognitiva com uma interface de mesa tangível, para que os usuários realizem tarefas cognitivas intuitivamente por suas mãos, através de toques e uso de objetos tangíveis na interface da mesa.	Permite melhorar as funções cognitivas e as habilidades motoras dos adultos, simulando atividades da vida diária e representa uma nova abordagem terapêutica interativa para melhor reabilitação cognitiva.
(DHILLON, GOULATI, <i>et al.</i> , 2011)	Explora o potencial das TUIs para o treinamento de habilidades motoras de crianças com paralisia cerebral com jogos personalizáveis.	Os terapeutas enfatizaram a importância da personalização dos programas de terapia para as necessidades de cada paciente.
(LI, FONTIJN, <i>et al.</i> , 2008)	Apresenta o desenvolvimento de um jogo de mesa para apoio ao tratamento de crianças com paralisia cerebral	A interação física, proporcionada pelas interfaces tangíveis, oferece um enorme potencial para a fisioterapia ocupacional, onde os pacientes precisam praticar movimentos específicos e repetitivos.
(LEITNER, TOMITSCH, <i>et al.</i> , 2008)	Analisa se os sistemas de mesa tangível são adequados para a reabilitação e se têm o potencial de criar um valor agregado para pacientes e terapeutas na reabilitação funcional e neural	Os sistemas de mesa tangível são uma valiosa tecnologia assistiva para atividades de reabilitação.

Fonte: do autor

Os vários experimentos demonstram e confirmam a utilidade das atividades e o potencial para ações exploratórias e no campo da educação especial, com relatos de motivação para seu uso, além de permitirem melhorar as funções cognitivas e as habilidades motoras de adultos em terapias interativas para a reabilitação cognitiva. Há um destaque para a importância do feedback do sistema e a necessidade que o mesmo seja emocional, ou seja, parecer triste por feedback negativo e alegre em feedbacks positivos. Há um alerta para que os personagens virtuais, apesar de eficazes, não devem substituir completamente o papel motivador e orientador

dos educadores, especialmente se envolver alunos com deficiência, pois a mediação humana ainda é necessária para crianças com deficiência intelectual.

Os sistemas de mesa tangível também são uma valiosa ferramenta de tecnologia assistiva para atividades de reabilitação, onde é importante a personalização dos programas de terapia para as necessidades de cada paciente. A interação física, proporcionada pelas interfaces tangíveis, oferece um enorme potencial para a fisioterapia ocupacional, onde os pacientes precisam praticar movimentos específicos e repetitivos.



## 5 PLATAFORMA NIDABA

Para cumprir o objetivo geral deste trabalho uma plataforma digital para produção de recursos educacionais baseados em mesa tangível para atender às necessidades dos educadores na educação inclusiva foi desenvolvida. A plataforma digital Nidaba é um ambiente para produção e uso de recursos educacionais tangíveis para ser executado em computadores ou dispositivos móveis, que interagem com mesas tangíveis, dispositivos robóticos, fantoches eletrônicos e ambientes de realidade virtual. É formado por uma mesa tangível baseada em visão computacional, por uma ferramenta de autoria interativa, pelos mecanismos e bibliotecas de comunicação entre seus componentes, por um player que executa as aplicações na mesa tangível e por um emulador que simula a execução da aplicação em computadores, tablets e smartphones.

O nome Nidaba é em referência à deusa suméria da escrita, aprendizado e astrologia. Nidaba é a patrona da escrita e atua como instrutora e guardiã do conhecimento para homens e deuses. Nidaba atuava como uma conexão do conhecimento dos deuses e dos homens. Os sumérios inventaram a escrita entre 3500-3000 a.C. como meio de comunicação para o comércio. A escrita cuneiforme utilizava impressões em argila e sua forma mais antiga conhecida era pictografia – símbolos que representavam objetos/conceitos. A partir da expansão da escrita para outros usos, como literatura, comunicação, lei, templos e registros governamentais, a educação dos escribas tornou-se uma necessidade. As escolas dedicadas a Nidaba eram chamadas E-DUB-A, e desta forma Nidaba tornou-se a deusa da alfabetização e padroeira da arte da escrita (KRIWACZEK, 2018).

A plataforma é uma proposta para uso baseado em mesa tangível, para ser utilizada como instrumento de mediação na educação inclusiva – em atividades educacionais para pessoas com ou sem deficiência, baseados no design universal – ou para serem utilizados como tecnologia assistiva, para eliminar barreiras e atender às características dos estudantes com deficiência, garantindo o seu pleno acesso ao currículo em condições de igualdade. Como tecnologia assistiva, podem ser desenvolvidos recursos educacionais para pessoas com deficiência intelectual, auditiva, visual, TEA e para alguns tipos de deficiência física e neuromotora.

A plataforma proporciona e auxilia no desenvolvimento de novos métodos e técnicas pedagógicas, de materiais didáticos, de equipamentos e de recursos de tecnologia assistiva para pessoas com deficiência. Ela propõe o uso da mesa tangível como um recurso de tecnologia

assistiva, propiciando a compensação social da deficiência (VYGOTSKY, 2012), permitindo que o estudante supere barreiras a partir da mediação pedagógica apoiada com tecnologia. A plataforma foi concebida de acordo com a teoria interacionista sócio-histórica de Vygotsky para ser um instrumento de mediação tecnológica, que pode ser utilizado em diferentes contextos educacionais e abordagens, uma vez que ele permite ao educador criar os recursos educacionais de acordo com a metodologia, técnica ou modelo educativo de sua preferência.

A seguir são apresentadas a metodologia, a especificação dos requisitos, a arquitetura da plataforma desenvolvida, com os detalhes da mesa tangível de baixo custo, o Eduba Editor, o Nidaba *Player* e a integração com os robôs e fantoches eletrônicos e com o ambiente de realidade virtual.

## 5.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Do ponto de vista da natureza e finalidade, esta é uma pesquisa aplicada que tem por objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigida à solução de problemas específicos envolvendo o uso de uma mesa tangível como instrumento de mediação na educação inclusiva. Visa produzir um conhecimento que possa ser efetivamente aplicado na vida real, ajudando a alterar uma situação da educação inclusiva na rede pública de ensino, oferecendo e disponibilizando um editor de recursos educacionais tangíveis para ser utilizado com uma mesa tangível de baixo custo e em computadores e dispositivos móveis.

Quanto à abordagem, a pesquisa é qualitativa e quantitativa, com análise das informações baseadas em triangulação de dados e interpretações de natureza subjetiva, observações e questionários com respostas subjetivas, baseadas em escala, flexíveis e de múltiplas interpretações.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é exploratória, com o objetivo de identificar os aspectos envolvidos e necessários para o uso de uma mesa tangível na educação inclusiva de modo inovador e pioneiro, mesclando referências bibliográficas com outros métodos, como desenvolvimento de software, testes, experimentos e observações. Esta pesquisa exploratória busca, por meio dos seus métodos e critérios, uma proximidade da realidade do objeto estudado, onde ainda não existem muitas informações sobre o tema analisado.

De acordo com os procedimentos para a coleta de informação, esta pesquisa é uma pesquisa-ação que envolve o desenvolvimento de uma plataforma (desenvolvimento de

software) para a mesa tangível e sua integração com demais dispositivos e a análise do seu uso e aceitação pelos educadores envolvidos com a educação inclusiva:

a pesquisa-ação é um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (THIOLENT, 2018).

A pesquisa envolve também uma pesquisa bibliográfica sobre educação inclusiva e interfaces tangíveis, para identificar as necessidades pedagógicas, questões de acessibilidade e tecnologias para uso de mesas tangíveis na educação inclusiva. Como o foco da pesquisa não está centrada em alterar as práticas da educação inclusiva, mas sim, de utilizar um novo instrumento de mediação tecnológica nas práticas inclusivas já consolidadas, o referencial teórico da educação inclusiva é baseado principalmente na legislação brasileira e no material de apoio e orientação disponibilizado pelo MEC e órgãos relacionados. O levantamento bibliográfico sobre interfaces tangíveis envolveu, além das referências já utilizadas em projetos do grupo de pesquisa, uma busca nas principais bases de pesquisa. A questão de pesquisa foi definida sobre o que é necessário para o uso de uma mesa tangível na educação inclusiva, de modo que o próprio educador consiga produzir e utilizar atividades educacionais em suas práticas pedagógicas. Os critérios de inclusão foram “*tangible tabletop*” e “*mesa tangível*”. A consulta nas respectivas bases, envolvendo as combinações dos termos *tangible*, *tabletop*, mesa e tangível sem restrição de datas, apresentou as quantidades de resultados descritos na tabela 1.

Tabela 1 – Resultados das buscas nas bases de pesquisa

Base de Pesquisa	Termo de busca Quantidade de Resultados			
	Tangible OR Tabletop	Tangible AND Tabletop	“Tangible Tabletop”	Mesa AND Tangível
Scopus	31.783	591	102	0
Web of Science	18.807	234	37	0
ACM Digital Library	5.280	387	54	0
IEEE Xplore	29.811	541	28	4
ScienceDirect	97.804	273	26	16
Total	183.485	2026	247	20

Fonte: do autor

Os termos de busca adotados foram: “Tangible Tabletop” e “Mesa AND Tangível”. A busca resultou em 160 artigos distintos, cujos critérios para classificação foram: características das mesas tangíveis (hardware, técnicas de construção); software/ferramenta de autoria e uso educacional inclusivo. Os critérios de exclusão foram: abordar exclusivamente *multi-touch* ou

*touchscreen*, realidade aumentada e objetos hápticos, sem interação com mesa tangível. Destes, aproximadamente 90 artigos foram descartados por não envolverem técnicas ou tecnologias diretamente relacionadas com mesa tangível nem com a educação especial inclusiva. Assim, 70 artigos foram analisados, de acordo com o assunto e tecnologia envolvida e estão descritos nos quadros 7 a 11 do Apêndice A, agrupados de acordo com os resultados da busca em cada base. Destes, os que estão diretamente relacionados com este trabalho estão descritos e detalhados no capítulo 3, nas tecnologias para construção de mesas tangíveis e aplicações e no capítulo 4, nos trabalhos relacionados.

A partir da revisão bibliográfica, foram identificadas as técnicas, tecnologias e funcionalidades a serem incorporadas na plataforma proposta. O editor KitVision (BONILLO, MARCO, *et al.*, 2019) foi utilizado para uma análise inicial, numa atividade para desenvolver aplicações para a mesa tangível, e sua usabilidade foi avaliada através de um questionário SUS e a atividade com um questionário IMI. A partir disso, foram identificadas as necessidades pedagógicas, questões de acessibilidade e de atividades cognitivas para a interação tangível no contexto inclusivo e definidos e especificados os requisitos da plataforma e do novo editor de recursos educacionais para mesa tangível.

O desenvolvimento da plataforma foi baseado em métodos ágeis, envolvendo processo incremental, com a colaboração dos interessados no produto, prevendo a simplicidade e a adaptabilidade e com o projeto passando por várias modificações no decorrer da implementação. Contou com uma equipe pequena no desenvolvimento, mas com alto nível técnico, com entregas rápidas e frequentes e com feedback constante. Foi baseado no método FDD (*Feature Driven Development*) (RETAMAL, 2014) com o foco nas funcionalidades do sistema, para permitir à equipe do projeto realizar um planejamento incremental, pois esse tipo de atuação ajuda a dar agilidade ao desenvolvimento de soluções em ambientes de incerteza em que as mudanças são inevitáveis. Este método permite entregar resultados frequentes e funcionais que podem ser testados e aprimorados, além de poder determinar as funcionalidades e suas prioridades, com A (tem que ter), B (é bom ter) e C (algum dia). Isso encoraja a descoberta e refinamento das funcionalidades e um entendimento evolutivo do que é mais importante em cada versão do protótipo funcional do produto.

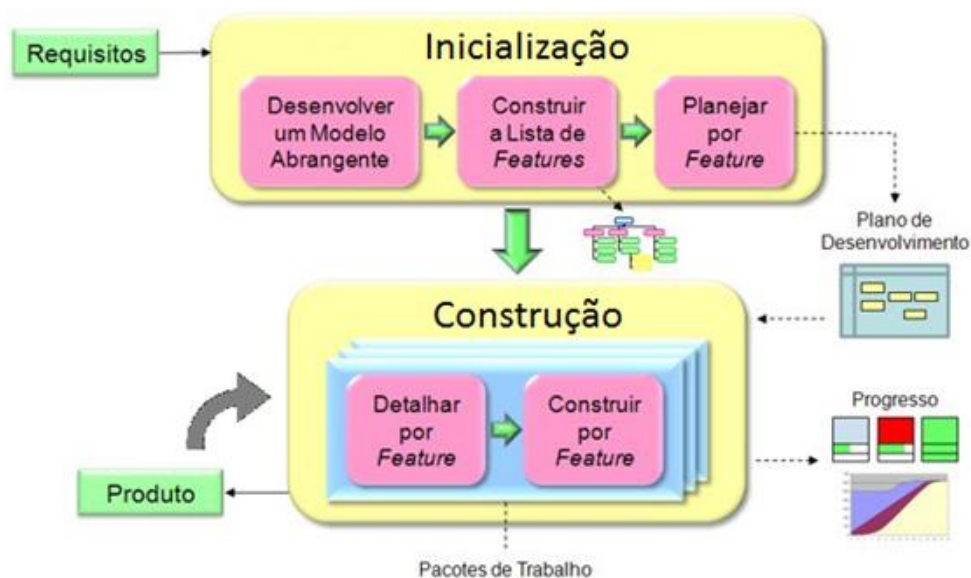
A FDD é uma metodologia bem objetiva, composta por duas fases (fig 28) (RETAMAL, 2014):

- a) **inicialização**: é uma fase linear, cuja meta é conceber o produto a ser construído, numa visão inicial de sua estrutura e suas funcionalidades. Essa fase normalmente

dura de 2 a 4 semanas e é composto por 3 processos: o desenvolvimento de um modelo abrangente, a partir dos requisitos do sistema; a construção da lista de funcionalidades e o planejamento por funcionalidades.

- b) **construção**: é uma fase iterativa cuja meta é entregar incrementos do produto de forma frequente e funcional, com qualidade para serem utilizados pelo interessado no produto. Essas iterações normalmente são de 1 a 2 semanas e envolvem 2 processos: detalhar por funcionalidades e construir por funcionalidades, onde cada funcionalidade é estudada, detalhada, modelada e implementada para disponibilizar uma nova versão do produto. Ao ser disponibilizada, a funcionalidade é analisada e refeita ou readequada, se for necessário.

Figura 28 – Ciclo de vida da FDD



Fonte: adaptada de (RETAMAL, 2014)

Com o desenvolvimento de protótipos funcionais do editor, foi necessário avaliar a usabilidade do editor e do player com as aplicações para mesa tangível, a viabilidade e utilidade da proposta e a adequação da plataforma às necessidades educacionais. Para isso, ele foi utilizado no desenvolvimento de aplicações para a mesa tangível durante 5 semestres (2018 a 2020), por estudantes de disciplinas de educação inclusiva da graduação e pós-graduação da UFRGS e sua usabilidade foi avaliada através de questionários SUS e IMI. Durante esse uso, as funcionalidades foram testadas e aprimoradas e novas funcionalidades foram incorporadas no editor.

Os sujeitos participantes dessa pesquisa que utilizaram o Eduba Editor para criação de aplicações para mesa tangível foram aproximadamente 100 estudantes de graduação e pós-graduação da UFRGS e 16 professores de ensino fundamental da rede pública.

Após os primeiros testes com o editor, duas mesas tangíveis foram desenvolvidas e instaladas na sala de atendimento educacional especializado, em duas escolas públicas: uma em Canoas (1/2019) e outra em Porto Alegre (2/2019). Nas escolas, o editor foi utilizado para criação de aplicações para a mesa tangível para uso com crianças com necessidades educacionais especiais, como parte das pesquisas do projeto Pitaia e Nidaba, envolvendo duas outras teses de doutorado do PPGIE e uma tese do PPGEDU. Com o aprimoramento das mesas tangíveis, foi realizada uma especificação de todo o material necessário para a construção, com as instruções para montagem e configuração de uma mesa tangível de baixo custo que possa ser realizada pelas escolas da rede pública, para ser usada na educação inclusiva.

A análise dos dados é baseada na triangulação dos dados das observações e registro das atividades (nas 2 escolas e nas turmas de graduação e pós-graduação) nas quais o editor foi utilizado e dos questionários de avaliação de usabilidade do editor com o questionário SUS – *System Usability Scale* (BROOKE, 1996) e do inventário de motivação intrínseca IMI – *Intrinsic Motivation Inventory* (MCAULEY, DUNCAN, *et al.*, 1989).

Esta pesquisa é parte dos projetos de pesquisa PITAIA – Proposta Inovadora de Tecnologia Assistiva para Inclusão e Aprendizagem em Ciências para estudantes com deficiência na comunicação, registrado e aprovado pelo CEP-UFRGS em 04/06/2018 com CAAE nº 66927417.6.0000.5347 e NIDABA: Sistema Integrado para Produção de Recursos Educacionais Tangíveis e Eletrônicos em Aulas Inclusivas, aprovada pelo CEP-UFRGS em 05/09/2019 com CAAE nº 17384719.9.0000.5347. Os referidos projetos possuem os termos de autorização das escolas onde a pesquisa está sendo realizada. Os termos de consentimento dos sujeitos da pesquisa utilizados são todos do projeto PITAIA e NIDABA. Os pesquisadores atuaram nas escolas pela pesquisa do projeto e utilizam os dados resultantes da mesma, de forma indireta, em suas respectivas teses.

## 5.2 ESPECIFICAÇÃO DOS REQUISITOS

Para a especificação dos requisitos da plataforma Nidaba, inicialmente são descritos os possíveis cenários de uso dela, com base na revisão da literatura e observações e experiências com o uso de um protótipo de mesa tangível com a ferramenta de autoria KitVision, num

contexto de criação de aplicações para mesa tangível. Essa experiência inicial foi útil para auxiliar no levantamento de necessidades pedagógicas, questões de acessibilidade e de atividades cognitivas para a interação tangível no contexto inclusivo.

Como parte do objetivo de realizar o levantamento de necessidades pedagógicas, questões de acessibilidade e de atividades cognitivas para a interação tangível no contexto inclusivo, os possíveis cenários de uso da plataforma Nidaba são descritos, juntamente com os requisitos funcionais e não funcionais da plataforma.

### **5.2.1 Cenários de uso da plataforma Nidaba**

A plataforma Nidaba pode ser utilizado por usuários finais e especialistas, principalmente por educadores, nas escolas, para atividades educacionais, mas também pode ser utilizado por outros profissionais, para uso em atividades de reabilitação ou terapêuticas em escolas de educação regular ou de educação especial, clínicas ou consultórios.

O primeiro cenário imaginado para uso da plataforma Nidaba é na sala de Atendimento Educacional Especializado (AEE) de uma escola inclusiva, onde o educador de AEE pode adaptar as atividades e recursos pedagógicos que já são utilizados de maneira convencional para serem utilizados como uma aplicação na mesa tangível, com recursos visuais e sonoros para instruções e feedback, proporcionando mais interatividade e melhorando a acessibilidade, eliminando as barreiras para a plena participação dos estudantes de acordo com as necessidades específicas de cada um.

Na escola regular, uma aplicação criada para a mesa tangível pode ser executada na mesa tangível da sala de AEE, como uma ferramenta de tecnologia assistiva para o estudante com algum tipo de deficiência e pode ser executada no simulador através dos dispositivos móveis (tablet e smartphone) e computadores da sala de aula, laboratório ou até mesmo na casa do estudante, no caso de ensino remoto. No simulador, ao invés dos objetos reais, são exibidas imagens dos mesmos que devem ser arrastados e colocados nas respectivas áreas, como se a tela do dispositivo fosse a superfície da mesa tangível.

O cenário principal vislumbrado nesta proposta é de uso numa escola regular que tenha uma sala de atendimento educacional especializada e pelo menos uma mesa tangível. Nela, o educador pode criar atividades inclusivas, para estudantes com e sem deficiência, apresentando conteúdos de forma interativa e com objetos reais. Ao colocar os objetos sobre a mesa, uma explicação pode ser apresentada com o auxílio de áudio, vídeos ou imagens. Ao colocar o objeto

correto na área adequada, um feedback visual ou sonoro pode ser apresentado ou uma nova cena pode ser exibida. Ao final das explicações e explorações dos diferentes objetos, uma atividade pode ser proposta, na qual perguntas e tarefas podem ser feitas para que o objeto adequado seja colocado numa determinada área de interação da mesa ou exigir que os objetos sejam agrupados ou separados de acordo com o critério escolhido. Outra abordagem é a aprendizagem por exploração, na qual o estudante vai sendo desafiado e, por tentativa e erro na colocação dos objetos sobre a área de interação adequada na mesa, o conteúdo e a aprendizagem podem ser desenvolvidos. Isso pode ser utilizado para todas as disciplinas, e adequado para os mais diversos conteúdos, como ser utilizado na alfabetização, com o uso adequado de letras ou palavras, na matemática, com números e cálculos, em conteúdos como cores e mistura de cores, em fatos históricos, mapas e regiões, plantas, animais, células, elementos químicos, atividades e cálculos de física, educação ambiental, higiene, saúde, enfim, qualquer conteúdo pode ter suas atividades adaptadas para uso numa mesa tangível. Neste cenário, o estudante com necessidades educacionais especiais usaria a mesa tangível e os demais, na impossibilidade de uso da mesa tangível, poderiam executar a aplicação utilizando computadores ou dispositivos móveis e simulando o uso dos objetos na tela.

Outro cenário possível é aquele no qual o educador cria uma aplicação de um conteúdo específico para um ou mais estudantes com algum tipo de deficiência específica, de forma semelhante à aplicação descrita no cenário anterior, porém com o uso de algum recurso ou técnica específica, de acordo com a necessidade educacional especial, para ser utilizado como uma ferramenta de tecnologia assistiva na mesa tangível da sala de atendimento educacional especializado.

Num contexto mais amplo, esta plataforma pode ser utilizada por educadores para produzir material educacional interativo baseado no design universal, sobre qualquer conteúdo e assunto, podendo ser utilizado por qualquer estudante numa sala de aula através de um computador ou dispositivo móvel, ser executado numa mesa tangível por um estudante com deficiência, na sala de AEE ou ainda, ser acessado pelo demais em suas casas, num computador, tablet ou smartphone, como complemento às atividades de sala de aula ou como parte da aula em ensino remoto.

Um outro cenário de uso desta plataforma é para formação de professores em disciplinas de cursos de graduação e pós-graduação que abordam a acessibilidade e tecnologia assistiva na educação inclusiva, nas quais os estudantes desenvolvem o planejamento e criam uma aplicação para a mesa tangível, para uso como tecnologia assistiva em aulas inclusivas. Nessa abordagem,



além de aliar a teoria com a prática, os futuros professores se envolvem com a temática da educação inclusiva e percebem as necessidades de ferramentas de tecnologia assistiva. Ao criar as aplicações, os estudantes também exercitam e aprimoram as técnicas e habilidades para produção de conteúdo educacional digital.

Esta plataforma pode também ser utilizada por pedagogos, psicopedagogos, psicólogos, fonoaudiólogos, educadores físicos, fisioterapeutas e terapeutas ocupacionais, para criar aplicações que sirvam de tecnologia assistiva para pessoas com deficiência para uso em atividades educacionais, de reabilitação ou terapêuticas, em escolas de educação regular ou de educação especial ou em clínicas e consultórios.

Esta plataforma pode ainda ser utilizada para uso com fantoches e dedoches eletrônicos em atividades interativas com os estudantes em sala de aula, nas quais os conteúdos ou histórias podem ser apresentadas com o uso dos fantoches e participação ativa dos mesmos, através da interação com os fantoches. Conforme ocorrem as interações com os fantoches e dedoches eletrônicos através da aproximação deles com o fantoche principal, as animações e efeitos sonoros são reproduzidos e novas cenas são exibidas através de um projetor multimídia.

Há ainda a possibilidade de utilizar robôs educacionais em atividades interativas que executam como complemento às aplicações da mesa tangível. Também é possível utilizar aplicações de realidade virtual projetadas na mesa tangível que interagem e se alternam com as aplicações da mesa tangível.

### **5.2.2 Requisitos funcionais**

O editor de recursos educacionais para mesa tangível é uma ferramenta de autoria que permite criar aplicações para mesa tangível e é destinado às pessoas que não têm domínio de lógica de programação. Os requisitos funcionais do Editor são:

- a) RFE01: O editor deve permitir a criação de cenas para atividades. Cada tela será identificada como uma cena (equivalente à Tarefa do Editor do KitVision). Uma atividade (lição, tarefa, animação, jogo ou história) é um conjunto de cenas. Uma tarefa seria uma cena com elementos que exigem que algo seja feito.
- b) RFE02: O editor deve permitir a escolha de uma cor de fundo ou uma imagem ou filme de fundo para cada cena, nos formatos JPG, PNG, GIF ou MP4

- c) RFE03: O editor deve permitir a escolha de um som de fundo, para cada cena, no formato MP3, com as opções para escolher o tempo inicial e o tempo final de execução e também o tempo de repetição.
- d) RFE04: O editor deve ter a opção de gravar áudio para qualquer som que desejamos incluir na cena, para ser usado como som de fundo de uma cena ou para feedback.
- e) RFE05: O editor deve permitir a inclusão de imagens, nos formatos JPG, PNG ou GIF na cena, com as funções de arrastar e soltar, redimensionar, girar, inverter ou cortar um pedaço da imagem.
- f) RFE06: O editor deve permitir a criação de animações com as imagens (JPG, GIF, PNG e MP4) de cada cena, especificando a posição e tamanho iniciais, a posição e tamanho finais e o tempo de duração (em segundos) da animação, com a opção de repetir a animação por um determinado número de vezes ou repetição infinita. Os recursos da animação devem ser: movimento linear, movimento com curvas, zoom e rotação, com opções para definir o tempo inicial e final de cada animação.
- g) RFE07: O editor deve permitir a inclusão de vídeos no formato MP4 nas cenas, escolhendo o tamanho e a posição em que serão exibidos, além de ser capaz de definir o tempo de execução inicial e final, com as opções de execução automática no início, após um tempo predefinido ou após um evento de interação.
- h) RFE08: O editor deve permitir a cópia ou replicação de uma cena com todos os elementos ou de um elemento em uma cena (objeto/som) em outras cenas para outras cenas.
- i) RFE09: O editor deve permitir a delimitação de áreas de interação (semelhantes às áreas do KitVision Editor), que podem ter sua borda visível ou não e permitir a escolha da cor da borda da área. Uma cena pode ter várias áreas de interação, desde que as áreas não se sobreponham.
- j) RFE10: Cada área de interação pode ter um objeto vinculado a um ou mais elementos fiduciais associados para estar correto, todos os outros sendo considerados incorretos, com a opção de ser obrigatória ou não a sua colocação para ir para a próxima cena. Cada área de interação pode ter a definição de qual cena será exibida após a colocação de cada elemento fiduciário, para permitir a criação de atividades não lineares
- k) RFE11: Cada área de interação deve ter uma opção para estar visível e/ou habilitada desde o início ou somente após um tempo predefinido ou após a ocorrência de um evento de interação ou um tempo predefinido.

- l) RFE12: O editor deve permitir a criação (tamanho e posição) de uma área de feedback com a escolha de imagens (ícones) e sons para as respostas corretas, incorretas e neutras.
- m) RFE13: O editor deve permitir salvar o projeto e abrir projetos anteriores para alterar ou continuar editando, armazenando o projeto no formato XML ou JSON.
- n) RFE14: Deve permitir criar elementos dinâmicos que, quando selecionados, vão para outra cena (links).
- o) RFE15: Deve propor a substituição de todas as imagens semelhantes ao alterar uma imagem.
- p) RFE16: Deve permitir a avaliação e o registro das atividades.

O *Player* é o software que executa as aplicações na mesa tangível. Os requisitos funcionais do *Player* são:

- a) RFP01: O *player* deve executar o projeto mostrando a atividade (história, animação ou jogo) na mesa tangível e interagindo com os elementos fiduciais através do reactIVision.
- b) RFP02: Se a atividade (história ou jogo) for linear, com a execução sequencial das cenas, deverá ter a opção de permitir a exibição de uma barra de progresso da execução ou do número da cena/porcentual do avanço.
- c) RFP03: O *player* deve ter um modo de depuração que mostre todas as áreas de interação com os identificadores dos fiduciais esperados e um comando para retornar à cena anterior.

### 5.2.3 Requisitos não funcionais

Os requisitos não funcionais do Editor são:

- a) RNE01: O editor e o *player* devem ser baseados em HTML, CSS e JavaScript e devem ser executados em qualquer navegador, mesmo que não tenham acesso ou conexão à Internet.
- b) RNE02: As cenas criadas devem se basear no design fluido, com as imagens e os elementos da tela ajustados automaticamente de acordo com a resolução da tela.
- c) RNE03: A interface do editor deve ser simples e intuitiva para ser usada por pessoas que não têm conhecimento de programação e lógica de programação.

- d) RNE04: A interface do editor deve estar disponível em português, espanhol e inglês.
- e) RNE05: O editor deve ter todos os recursos e funcionalidades presentes no KitVision Editor e incluir os recursos de animação, vídeos e criação de histórias e jogos não lineares.
- f) RNE06: As imagens, vídeos e sons usados devem estar disponíveis no computador local. O editor não exibirá imagens e vídeos online para garantir a execução do aplicativo sem a necessidade de uma conexão com a Internet.
- g) RNE07: O editor deve ser robusto, garantindo execução e continuidade, mesmo que um recurso utilizado apresente um problema de visualização ou execução.
- h) RNE08: O editor deve exibir mensagens claras que indicam erros ou problemas, se ocorrerem.
- i) RNE09: O editor deve ser desenvolvido de forma modular, permitindo a inclusão de módulos de comunicação. Para a mesa tangível, ela deve ter um módulo de interação com os elementos do ReactiVision e do protocolo TUIO.

Os requisitos não funcionais do *Player* são:

- a) RNP01: O *player* deve ser baseado em HTML, CSS e JavaScript e deve ser executado em qualquer navegador, mesmo que não tenha acesso ou conexão à Internet.
- b) RNP02: As cenas criadas devem se basear no design fluido, com as imagens e os elementos da tela ajustados automaticamente de acordo com a resolução da tela.
- c) RNP03: O *player* deve ser robusto, garantindo execução e continuidade, mesmo que um recurso usado tenha um problema de visualização ou execução.
- d) RNP04: O *player* deve exibir mensagens claras que indicam erros ou problemas, se ocorrerem.
- e) RNP05: O *player* deve ser desenvolvido de forma modular, permitindo a inclusão de módulos de comunicação. Para a mesa tangível, deve ter um módulo de comunicação com o reactiVision com suporte para o protocolo TUIO.

### 5.3 ARQUITETURA DA PLATAFORMA

A plataforma proposta consiste numa ferramenta de autoria baseada num editor de recursos educacionais tangíveis (Eduba Editor), num *player* (Nidaba *Player*) que executará as

aplicações numa mesa interativa tangível e nas bibliotecas para a comunicação da plataforma com os fantoches eletrônicos, robôs educacionais, ambiente de realidade virtual e demais dispositivos eletrônicos baseados em Arduino. A figura 29 apresenta uma visão da estrutura dos componentes da plataforma Nidaba, todos executando sobre soluções de baixo custo, baseadas em software livre.

Figura 29 – Plataforma Nidaba



Fonte: do autor

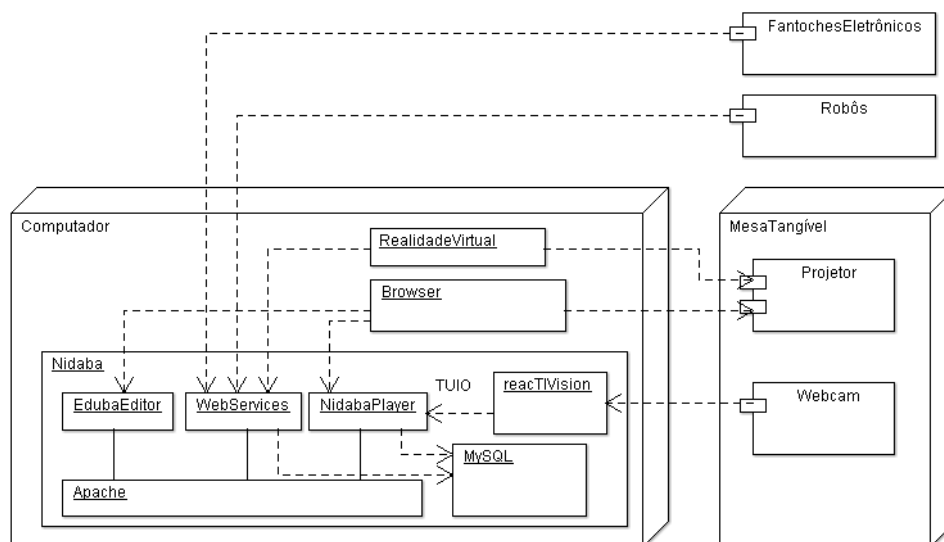
A plataforma Nidaba apresenta duas possibilidades de uso, de acordo com os requisitos da aplicação: uma versão para *download* e instalação num computador ou notebook (Windows) para ser utilizado localmente, mesmo que não tenha conexão com a Internet e uma versão *online* do editor e do emulador para a execução simulada da aplicação em computadores e dispositivos móveis.

A plataforma Nidaba pode ser utilizada localmente (fig. 30) ou num servidor web, *online*. Ela executa sobre um servidor web (Apache ou similar), que disponibiliza o Eduba Editor e os webservices para interação com os robôs educacionais, fantoches eletrônicos e ambiente de realidade virtual. O navegador (*browser*) é utilizado para acessar o Eduba Editor para criar as aplicações. Um servidor MySQL é usado para armazenar informações sobre avaliação e desempenho na execução das aplicações e interações com fantoches, robôs e ambiente de realidade virtual.

O Nidaba *Player* executa a partir de um navegador, somente na versão instalada localmente, projetando a imagem na superfície da mesa tangível (projetor). A imagem dos

objetos colocados sobre a superfície da mesa é captada pela câmera (*webcam*) e enviada para o *reactIVision*, que faz o rastreamento dos marcadores fiduciais dos objetos e envia, via protocolo TUIO, para o *Nidaba Player* processar as interações.

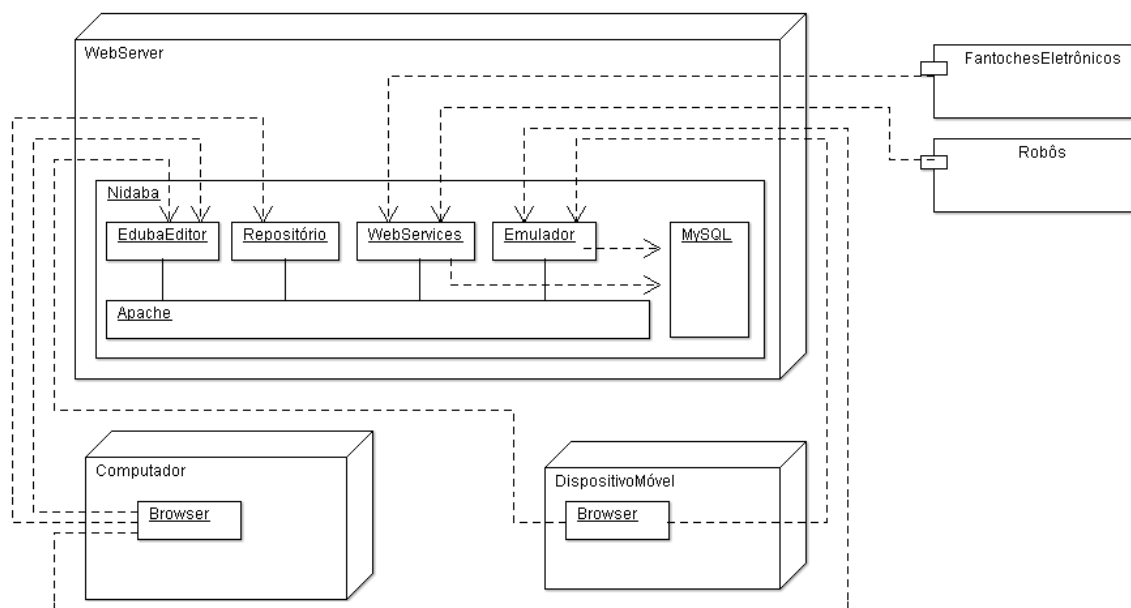
Figura 30 – Arquitetura do Nidaba para execução local



Fonte: do autor

A plataforma Nidaba online disponibiliza o Eduba Editor, o emulador e o repositório de aplicações. A partir do navegador de um dispositivo móvel ou de um computador pode ser acessado o emulador, que permite executar a aplicação simulando as interações com a mesa tangível. Ela pode também ser utilizada integrada à versão instalada localmente.

Figura 31 – Arquitetura do Nidaba online



Fonte: do autor

Os componentes que formam a plataforma Nidaba – mesa tangível de baixo custo, a ferramenta de autoria Eduba Editor, o Nidaba Player – são apresentadas a seguir, juntamente com a estrutura para integração com fantoches eletrônicos, robôs educacionais e ambientes de realidade virtual.

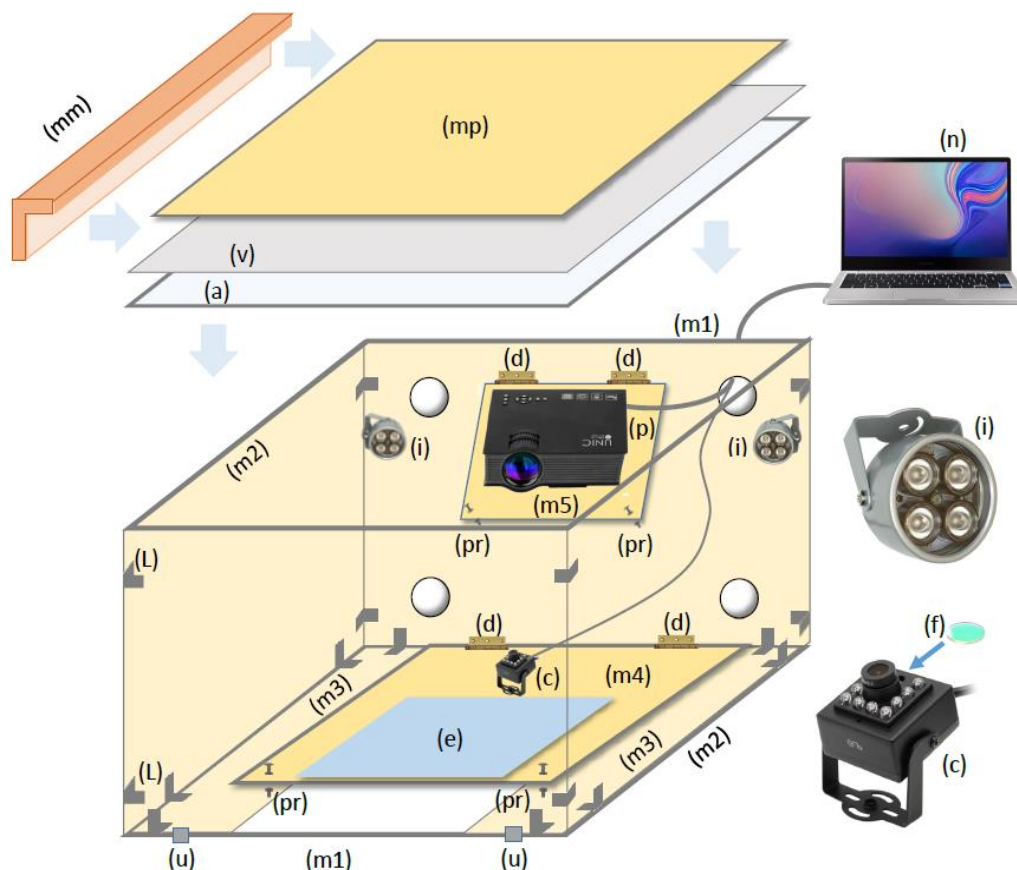
### 5.3.1 Mesa tangível de baixo custo

Para atender ao objetivo de definir uma especificação de baixo custo para sua construção e uso na educação inclusiva, vários protótipos de mesa tangível foram construídos e aprimorados e uma especificação para construção e montagem a partir de materiais facilmente encontrados em lojas especializadas pôde ser especificada.

As poucas opções comerciais de mesa tangível apresentam custos elevados, como é o caso das mesas MultiTaction, que custam entre US\$ 10.000 e US\$ 12.000 (nos EUA). Além da dificuldade de importação, há os custos com transporte e imposto de importação, que quase duplicam o valor. Como alternativa, uma mesa tangível de baixo custo – de R\$ 3.000 a R\$ 5.000, dependendo do projetor – para uso na educação inclusiva pode ser montada com os seguintes componentes (fig. 32):

- **Projetor:** (p) 1 mini projetor (1600 lúmens ou mais) ou projetor de curta distância (2500 lúmens ou mais). O projetor deve proporcionar uma projeção maior que 36” (80cm x 50cm) a 120cm de distância e permitir fixação em sua base com 2 ou 3 parafusos.
- **Câmera IR:** (c) 1 câmera infravermelho com conexão USB e lente 28mm com suporte m12. Uma webcam convencional normalmente tem um filtro que impede a entrada de IR no sensor e deve ser evitado seu uso, mas pode ser utilizada, desde que esse filtro, localizado entre a lente e o sensor seja removido.
- **Filtro IR:** (f) 1 filtro passa-alta IR 850nm 12mm, colocado entre a lente e o sensor da câmera, para permitir somente a passagem de IR impedindo a entrada da luz convencional no sensor da câmera. Um filme de fotografia velado ou a parte bem escura de uma radiografia pode ser usado como filtro IR.
- **Iluminador Infravermelho:** (i) 2 peças com fonte de alimentação 12V, colocados de modo a iluminar para baixo, para que a iluminação seja difusa. O sensor do iluminador deve ser coberto para que o iluminador sempre fique ligado.
- **Acrílico transparente:** (a) 1 peça 80cm x 60cm x 2mm.

Figura 32 – Especificação para montagem de uma mesa tangível de baixo custo



Fonte: do autor

- **Vinil translúcido:** (v) 1 peça 85cm x 65cm. Pode ser usado vinil translúcido, película para retroprojeção em vitrines ou, alternativamente, papel vegetal coberto com vinil ou plástico PVC transparente (cristal) simples.
- **MDF 15mm:** (m1) 2 peças 80cm x 74cm, com 4 furos na peça traseira para ventilação; (m2) 2 peças 57cm x 74cm; (m3) 2 peças 25cm x 57cm; (m4) 1 peça 42cm x 47cm; (m5) 1 peça 40cm x 30cm.
- **MDF 6mm:** (mp) 1 peça 78cm x 58cm, para a proteção da superfície da mesa, quando ela não estiver em uso.
- **Espelho:** (e) 1 peça 2mm x 40cm x 30cm, colado no MDF com fita dupla-face.
- **Cantoneiras L** para móveis 35mm ou similar: (L) 16 peças.
- **Dobradiças** para móveis 60mm ou similar: (d) 4 peças.
- **Parafusos** para madeira 12mm: (pm) 96 peças, para fixar as cantoneiras e dobradiças.



- **Parafusos** 80mm com arruela e porca: (pr) 4 parafusos, 8 arruelas, 8 porcas, para a regulação do ângulo do projetor e do espelho.
- **Moldura de madeira** 6cm x 3cm: (mm) 2 peças 80cm; 2 peças 60cm
- **Sapata** ou ponteira em formato de U (pé) para MDF de 15mm: (u) 4 peças.
- **Computador** ou **notebook**: (n) 1 equipamento para instalação do software e conexão com projetor e câmera.

As mesas tangíveis são implementadas utilizando sistema de rastreamento de objetos baseados em visão computacional através do reactIVision e TUIO (KALTENBRUNNER, 2009). A iluminação infravermelha IR (*infrared*) da mesa tangível utiliza DI (*Diffused Illumination*), como descrito em (SCHÖNING, HOOK, et al., 2010), através de dois iluminadores IR 850nm, apontados para a parte de baixo da mesa, para que a iluminação no tampo de acrílico seja indireta e difusa e evite saturações e para que a câmera não capte os iluminadores de modo direto nem refletidos no tampo.

A câmera para a mesa é uma webcam infravermelho HD USB com lente 28mm e suporte m12 e um filtro passa-alta IR 850nm 12mm entre a lente e o sensor, para que a câmera capte somente o reflexo do IR nos marcadores fiduciais dos objetos colocados sobre a superfície da mesa. Alternativamente um filme velado ou a parte escura de uma radiografia pode ser utilizado como filtro passa-alta IR. Uma câmera IR, além de já possuir os leds de infravermelho, não possui o filtro que impede a entrada de IR no sensor, normalmente encontrada nas webcams convencionais, por isso, o uso de uma webcam convencional deve ser evitado, mas pode ser utilizada, desde que esse filtro IR, localizado entre a lente e o sensor seja removido e o filtro passa-alta IR 850nm seja colocado.

Quanto ao projetor a ser utilizado, uma característica fundamental é que ele seja de curta projeção, capaz de projetar uma imagem maior que 36" (80cm x 50cm) a 120cm de distância, para que a sua projeção, com auxílio do espelho seja capaz de ocupar toda a largura da superfície da mesa. Outro aspecto importante é que o projetor seja capaz de projetar nativamente a imagem no formato 16:9 (*widescreen*) para uma melhor utilização de sua luminosidade e tamanho da projeção. E, por fim, a luminosidade do mesmo precisa ser, no mínimo 1600 lumens para uso numa mesa num ambiente escurecido ou no mínimo 3000 lúmens para uso numa sala iluminada. As alternativas envolvem os miniprojetores de 1600 ou 2000 lumens ou os projetores de curta projeção como por exemplo, o Epson Powerlite W39 de 3500 lumens. Um detalhe importante no momento da escolha do projetor é que ele deve possuir rosca para fixação em sua base, permitindo que ele seja parafusado na estrutura da mesa. A opção por fixá-lo numa base e esta

ser fixada com dobradiças na mesa é para facilitar a regulagem (com parafusos) para sua projeção no tampo da mesa, através do espelho. Como o projetor fica dentro da mesa, ele pode gerar sombra dele mesmo na projeção, por isso, a projeção não ocupa toda a área da superfície da mesa, ficando a parte de trás do tampo sem projeção, que é onde podem ser colocados os objetos tangíveis que não estão em uso.

A construção da mesa utilizando MDF permite que ela seja resistente e que possa ser desmontada e transportada com facilidade. Uma moldura ao redor do tampo, além de fixar o acrílico e evitar que ele se desloque ou caia, serve de guia para a colocação de uma proteção na superfície, para quando a mesa não estiver em uso. Na parte traseira da mesa é importante que tenha alguns furos para permitir a ventilação e evitar o aquecimento interno provocado pelo projetor.

O tampo da mesa deve ser de acrílico, coberto com vinil translúcido, película para retroprojeção em vitrines ou, alternativamente, papel vegetal coberto com vinil ou plástico PVC transparente (cristal) simples ou com adesivo (Contact) sobre a sua superfície. Esse vinil deve ser fosco o suficiente para reter a projeção da imagem e translúcido a ponto de permitir que a câmera capte a imagem dos marcadores fiduciais na base dos objetos quando colocados sobre a mesa. Se o vinil for colocado abaixo do acrílico, a imagem dos marcadores fiduciais ficará distorcida e o rastreamento dos objetos ficará prejudicado. Com a colocação do vinil sobre o acrílico o rastreamento é facilitado, mas é necessário ajustar os iluminadores IR dentro da mesa para que os reflexos dos mesmos, através dos espelhos e do acrílico, não sejam captados pela câmera.

### **5.3.2 Eduba Editor**

Para cumprir com o objetivo de desenvolver uma ferramenta de autoria para criação de recursos educacionais para a mesa tangível, com suporte aos cenários e pictogramas, áudio, vídeo e elementos de marcação fiducial, baseado em eventos, que seja intuitivo e de fácil utilização por educadores que não dominam lógica de programação, foi desenvolvido o Eduba Editor.

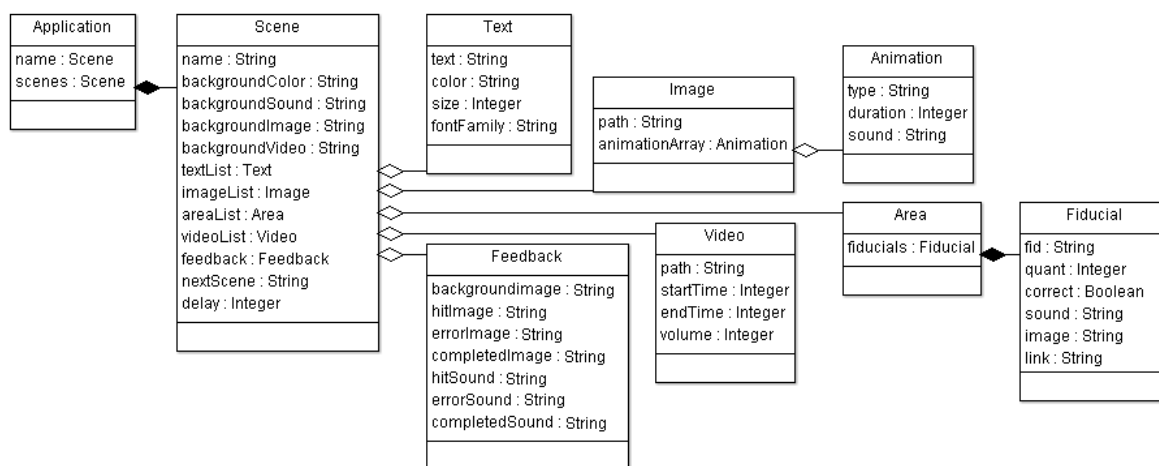
O Eduba Editor é uma ferramenta de autoria que permite a criação de material educacional, incluindo cenas, imagens, textos, animações e atividades para a mesa tangível, de modo intuitivo e interativo, em computadores e dispositivos móveis. Apresenta uma versão *online* (“Eduba Editor”, 2020) e uma versão para *download* e instalação num computador

baseado em Windows, que pode ser usada mesmo sem acesso à Internet. A interface está disponível nos idiomas Português, Inglês e Espanhol, disponibiliza um manual de uso do software e os tutoriais, dicas e exemplos para auxiliar no planejamento e produção das aplicações estão disponíveis no site.

No editor, as aplicações são formadas por um conjunto de cenas. Em cada cena é escolhida a imagem de fundo, o áudio de narração ou explicação e pode ainda ter outros elementos, como texto, imagem com possibilidade de animações, área de interação baseada nos marcadores fiduciais, vídeos e feedback. Quando há interação com objetos tangíveis, são delimitadas as áreas dessa interação no editor e a configuração dos elementos fiduciais corretos e incorretos e o respectivo feedback sonoro ou pictográfico para cada resposta.

A figura 33 apresenta a estrutura de classes da aplicação com suas principais propriedades. A aplicação é formada por uma ou mais cenas, onde cada cena pode ter um ou mais elementos de texto, imagem, vídeo, área de interação e, opcionalmente, pode ter um único elemento de feedback. Cada imagem pode ter uma ou mais animações e cada área de interação deve ter um ou mais marcadores fiduciais configurados.

Figura 33 – Estrutura de classes da aplicação no Eduba Editor



Fonte: Do autor

A aplicação possui um nome e um conjunto de cenas. As principais propriedades de cada cena são:

- name:** o nome da cena;
- backgroundColor:** a cor de fundo da cena. Esta propriedade é opcional e é usada somente se a cena não tiver imagem ou vídeo de fundo;
- backgroundImage:** a imagem de fundo da cena, em formato JPG, GIF ou PNG.

- d) **backgroundSound**: o áudio que será reproduzido quando a cena for exibida, normalmente utilizado para as informações ou instruções que orientam a atividade;
- e) **backgroundVideo**: o vídeo de fundo da cena (opcional);
- f) **nextScene**: a próxima cena a ser exibida;
- g) **delay**: o tempo (em segundos) que a aplicação vai esperar antes de exibir a próxima cena.

Cada cena pode ter um conjunto de elementos, com um tamanho e posição específica na cena, podendo ser um feedback e um ou mais elementos de texto, imagem, vídeo e área de interação. As principais propriedades de um elemento de texto são o seu conteúdo, a cor o tamanho e a fonte. As propriedades dos elementos de vídeo são o seu nome e localização no sistema de arquivos da aplicação, a definição do ponto inicial e final de exibição e o seu volume.

As propriedades de uma imagem são o seu nome e localização no sistema de arquivos da aplicação e podem ter uma ou mais animações. As propriedades da animação são:

- a) **type**: define o tipo da animação da animação da imagem, podendo ser: atraso, movimento, pulsar, sacudir, destaque, aparecer, desaparecer, *fade in*, *fade out*, *zoom in*, *zoom out* ou deslizar. Se a animação for de movimento, o tamanho da imagem final e suas coordenadas (x e y) devem ser definidas;
- b) **duration**: duração em segundos do efeito de animação da imagem;
- c) **sound**: áudio que será reproduzido durante a animação da imagem;

Uma área pode ter um ou mais elementos de marcação fiducial que devem ser configurados. As principais propriedades de um marcador fiducial são:

- a) **id**: o identificador (um número de 1 a 40) de um marcador fiducial ou uma sequência de identificadores, separador por vírgulas ou espaço em branco;
- b) **quant**: a quantidade de objetos com os marcadores fiduciais especificados na propriedade anterior que devem ser colocados sobre a área para que seja considerada concluída;
- c) **correct**: define se os marcadores fiduciais especificados na propriedade anterior são corretos ou incorretos;
- d) **image**: define uma imagem que será exibida na área de interação após a colocação do objeto com o marcador fiducial especificado;
- e) **link**: defina a próxima cena a ser exibida quando o objeto com o marcador fiducial especificado for colocado na área de interação. É uma propriedade opcional que pode ser utilizada para criar aplicações não lineares, com menus e escolhas;

As propriedades de um elemento de feedback são:

- a) **backgroundImage**: imagem que será exibida na área de feedback;
- b) **hitImage**: imagem de acerto que será exibida na área de feedback;
- c) **errorImage**: imagem de erro que será exibida na área de feedback;
- d) **completeImage**: imagem que será exibida na área de feedback quando todos os objetos corretos foram colocados em todas as áreas de interação e a atividade da cena está completa;
- e) **hitSound**: som que será reproduzido quando um objeto com o marcador fiducial correto for colocado em qualquer área da cena;
- f) **errorSound**: som que será reproduzido quando um objeto com o marcador fiducial incorreto for colocado em qualquer área da cena;
- g) **completeSound**: som que será reproduzido quando todos os objetos corretos foram colocados em todas as áreas de interação e a atividade da cena está completa;

Além das principais propriedades descritas, há outras propriedades complementares que são implementadas na interface do editor que permitem configurar a posição e o tamanho de cada elemento de cena, se serão exibidas as bordas nas áreas de interação e no feedback e qual a sua cor, o tempo de exibição das imagens dos feedbacks, qual tipo e forma de uma área de interação, dentre outras.

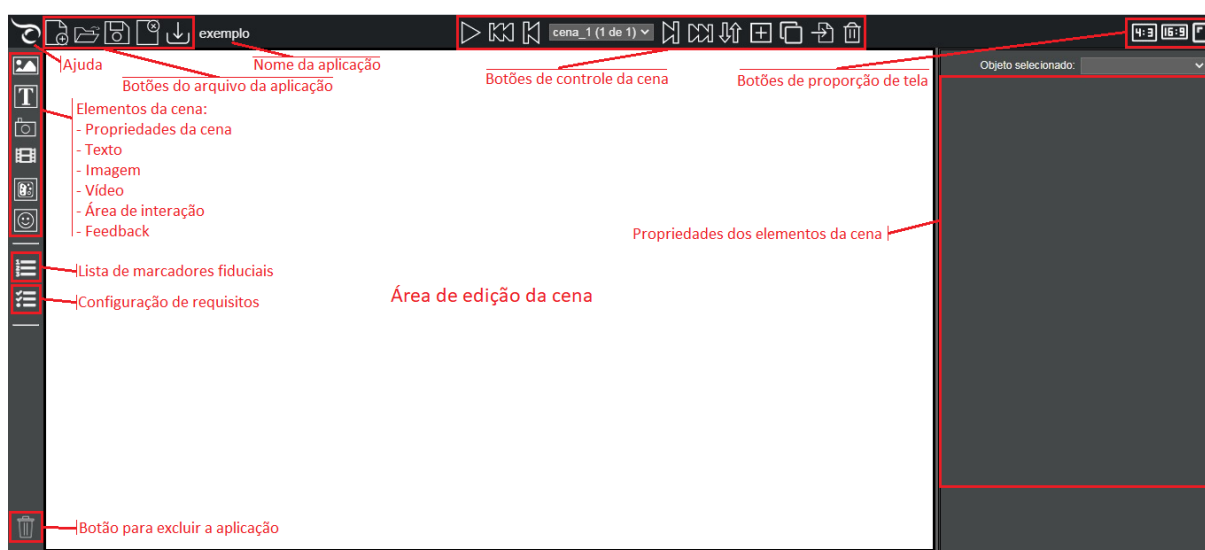
O Eduba Editor foi desenvolvido com HTML5, CSS, JavaScript e PHP para ser executado num *browser* (Chrome, Edge, Firefox, Safari), se comunicando com o software reactIVision, através do protocolo TUIO sobre websockets, que faz o reconhecimento das interações dos marcadores fiduciais colocados sobre a mesa. A implementação utiliza o paradigma de orientação a objetos e a aplicação é salva como um objeto no formato JSON, juntamente com os arquivos de mídia, para que uma aplicação no formato HTML5 seja gerada para ser executada na mesa tangível ou no simulador em computadores ou dispositivos móveis.

O editor possui uma interface baseada em WYSIWYG (*What You See Is What You Get* - O que você vê é o que você obtém), onde toda a programação das atividades é realizada sem a necessidade de programação explícita, inserindo os elementos de forma interativa com o uso do mouse, clicando, arrastando e redimensionando os elementos e preenchendo as propriedades no espaço específico, de acordo com o contexto de cada um.

A interface do editor (fig. 34) apresenta, ao centro, a área de edição da cena. Na parte superior esquerda está o botão de ajuda do sistema, os botões relacionados ao arquivo da aplicação (novo, abrir, salvar, fechar e *download*) e o nome da aplicação. Na parte superior, ao

centro, apresenta os botões relacionados ao controle e navegação nas cenas (executar a cena atual, ir para a primeira, anterior, próxima, última, ordenar, adicionar, duplicar, importar e excluir cena). Na parte superior direita estão os botões da proporção de tela. Na lateral esquerda, apresenta os botões para inserção dos elementos que serão utilizados para compor a cena, como a configuração da imagem e áudio de fundo, texto, imagem, vídeo, área de interação com os marcadores fiduciais e o feedback. Abaixo dos elementos há os botões para a configuração dos marcadores fiduciais e dos requisitos e bem abaixo, o botão para excluir a aplicação. Na lateral direita, apresenta as propriedades de acordo com o elemento que estiver selecionado.

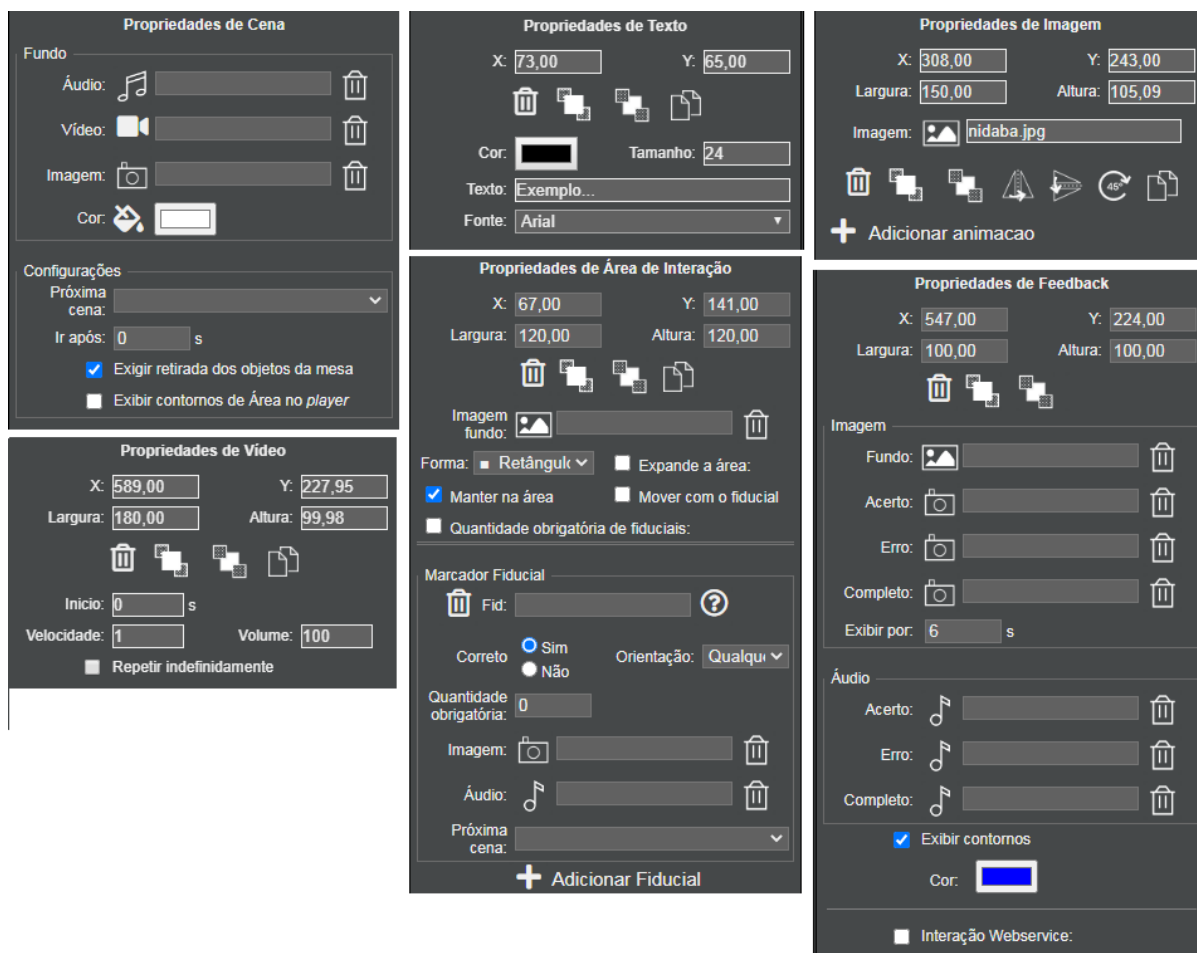
Figura 34 – Interface do Eduba Editor



Fonte: do autor

De acordo com o elemento selecionado na edição da cena, as propriedades do mesmo são exibidas e podem ser alteradas. A figura 35 apresenta as propriedades da cena e dos elementos de texto, imagem, vídeo, áreas de interação e feedback, respectivamente. Nas propriedades dos elementos de texto, imagem, vídeo, área de interação e feedback é possível definir a posição e tamanho interativamente com o mouse, arrastando e redimensionando ou digitando essas propriedades. Na interface, os valores referem-se à quantidade de pixels de cada elemento, mas internamente, a aplicação armazena o valor em percentual em relação ao tamanho da tela em edição, o que garante a edição e exibição em outras telas com resoluções diferentes. Esses elementos também têm em sua caixa de propriedades os botões para excluir, enviar para frente, enviar para trás e duplicar elemento (copiando e colando o elemento e todas as suas propriedades). O elemento de imagem tem ainda os botões para inverter horizontalmente, inverter verticalmente e girar.

Figura 35 – Propriedades dos elementos de cena



Fonte: do autor

O botão Lista de Fiduciais permite cadastrar nomes significativos para os fiduciais e associar uma imagem a eles, para facilitar o preenchimento das listas de marcadores fiduciais durante o desenvolvimento e para exibição durante a execução simulada num computador ou dispositivo móvel. Nesta lista (fig. 36, à esquerda) também é possível escolher se serão exibidos ou não os nomes e números dos fiduciais e se a ordem de exibição deles no simulador será sequencial ou aleatória, o que é útil para uso quando a aplicação é executada em computadores ou dispositivos móveis. Há ainda a possibilidade de criação de aplicações semelhantes a jogos com dado, onde um dado especial com marcadores fiduciais pode ser jogado sobre a mesa e, dependendo do resultado, avançar para a cena adequada. Também há um botão para fazer a impressão dos marcadores fiduciais, com a respectiva identificação de seus números e nomes definidos na lista (fig. 36, à direita).

Figura 36 – Lista de marcadores fiduciais e sua a impressão



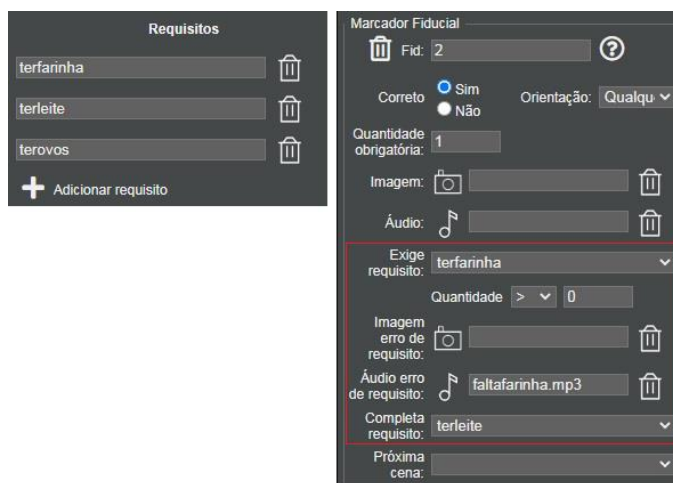
Fonte: do autor

O Eduba Editor permite criar atividades que exigem que as ordens de sequências de colocação de objetos sobre a mesa sejam respeitadas, como, por exemplo, uma receita de bolo – onde deve ir primeiro a farinha, depois o leite, depois os ovos e por último o fermento – ou em atividades com escolhas onde primeiro deve-se cumprir uma tarefa para depois fazer a outra. Para isso, devem ser criados os requisitos na aplicação. Ao criar requisitos, as propriedades dos marcadores fiduciais da área de interação apresentam campos adicionais para configurar os requisitos e os feedbacks de erros causados, caso eles não tenham sido cumpridos. A figura 37 apresenta, à esquerda, a lista de requisitos e, à direita, um exemplo das propriedades do marcador fiducial de uma área de interação com destaque para os campos relacionados aos requisitos.

Os requisitos da aplicação funcionam como um contador, com o requisito configurado sendo incrementado em uma unidade cada vez que é cumprido. Isto permite não apenas testar se o requisito foi cumprido ou não, mas pode ser usado para testar se o mesmo é menor, igual ou maior que um número pré-estabelecido. A implementação de requisitos permite criar aplicações mais complexas e com mais regras, apesar de aumentar um pouco a complexidade no planejamento e desenvolvimento. Para manter a simplicidade e facilidade de criação de aplicações que não precisam de requisitos, essas propriedades adicionais somente são exibidas se pelo menos um requisito for criado.



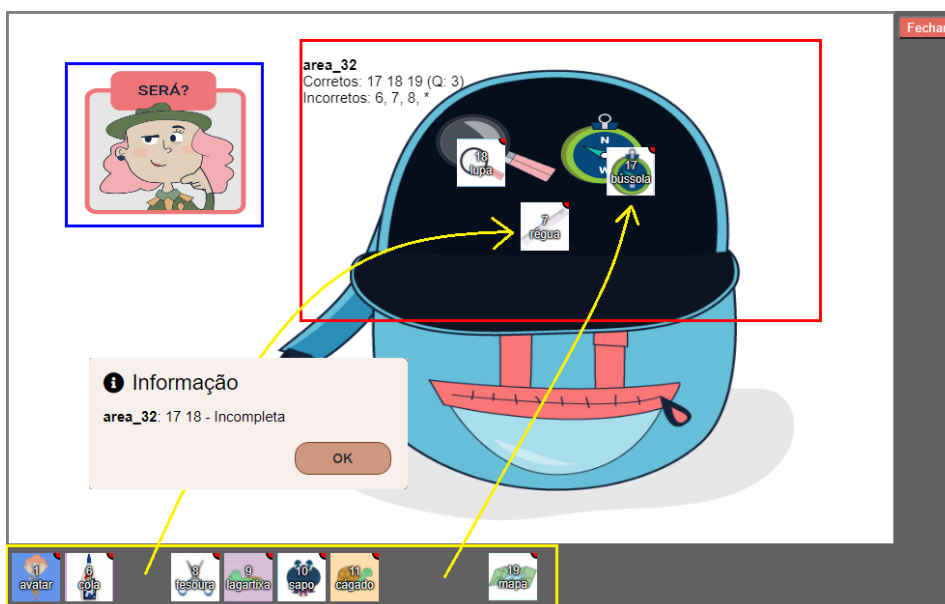
Figura 37 – Lista de requisitos e propriedades da área de interação com requisitos



Fonte: do autor

O Eduba Editor possui um emulador (fig. 38) que permite executar e testar as aplicações sem a necessidade de uma mesa tangível, fazendo com que a aplicação no computador funcione de maneira semelhante à sua execução na mesa tangível, através da interação com o usuário baseada em objetos e marcadores fiduciais simulados. Ao testar a aplicação, a lista de marcadores fiduciais correspondentes aos objetos é exibida na parte inferior da tela e podem ser arrastadas para a cena, simulando a colocação dos mesmos sobre as áreas de interação. No emulador também é possível ativar o modo de depuração, com a exibição das bordas das áreas de interação e de informações adicionais, como o status e a lista dos fiduciais corretos e incorretos de cada área.

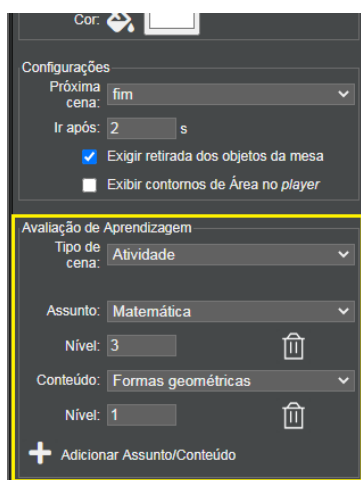
Figura 38 – Emulador para testar a aplicação no Eduba Editor



Fonte: do autor

Para permitir a avaliação e o registro do desempenho nas atividades na mesa tangível foi desenvolvido um módulo de avaliação para o Eduba. Caso esse módulo esteja ativo, além das propriedades de cena, devem ser definidas o tipo de cada cena (instrução, lição, dica ou atividade) e especificar o tema, conteúdo, assunto e nível de dificuldade. A figura 39 apresenta em destaque as propriedades adicionais que precisam ser configuradas para cada cena, quando a avaliação está ativada. Diferentes ações e feedbacks também podem ser definidos de acordo com a quantidade de erros cometidos em cada área de interação.

Figura 39 – Propriedades da avaliação na configuração de cada cena



Fonte: do autor

Para permitir o compartilhamento de aplicações criada com o Eduba Editor, foi implementado um Repositório de Aplicações no site do projeto. Além do arquivo da aplicação, podem ser definidos o assunto, tema, conteúdo e palavras-chave para facilitar a localização e busca.

### 5.3.3 Nidaba Player

Para cumprir com o objetivo de desenvolver um *player* para utilizar e executar os recursos educacionais em mesas tangíveis e que permita a simulação em computadores, tablets e smartphones, foi desenvolvido o Nidaba *Player*.

O Nidaba *Player* é o módulo da plataforma que executa numa mesa tangível as aplicações criadas no Eduba Editor, realizando a projeção das cenas na superfície da mesa e reagindo às colocações e movimentação dos objetos sobre a mesa através da comunicação com o reactIVision, que é o software de visão computacional que realiza o rastreamento dos marcadores fiduciais fixados na base dos objetos. É o responsável pelo controle das interações

do usuário e pelo feedback sonoro e visual, de acordo com cada objeto colocado na mesa, além de avaliar quando todos os fiduciais foram colocados nas respectivas áreas para exibir a próxima cena ou uma cena específica.

O Nidaba *Player* possui um módulo de execução simulada, através de um emulador, para ser utilizado em computadores e dispositivos móveis, sem a necessidade de uma mesa tangível, de modo semelhante ao emulador do Eduba Player, porém sem as ferramentas de depuração disponíveis no desenvolvimento. No emulador (fig. 40), a cena da aplicação é exibida com uma representação simulada dos objetos na parte inferior da aplicação, que devem ser colocados, movidos ou girados sobre as respectivas áreas de interação da aplicação.

Figura 40 – Emulador



Fonte: do autor

O emulador de aplicações em computadores ou dispositivos móveis está disponível quando é utilizada a versão online do Eduba Editor ou a versão instalada localmente num computador, desde que esteja na mesma rede (rede interna) dos usuários que utilizarão a aplicação. Para acessar a aplicação simulada, o Eduba Editor gera um link ou um QR Code que pode ser compartilhado com os usuários (fig 41).

Figura 41 – Link e QR Code para acessar a aplicação no emulador online



Fonte: do autor

Para o controle das interações na mesa tangível, o *player* implementa um controlador que processa os eventos de colocação, movimentação e retirada dos objetos da mesa, bem como a sua orientação (360°). Para isto, o controlador verifica, a cada evento, se o marcador fiducial do objeto está ou não sobre uma das áreas da mesa e reproduz o áudio e exibe a imagem de feedback – caso existam, atualiza o controle de requisitos da aplicação e verifica se todas as áreas estão completas para exibir a próxima cena.

Para a interação com fantoches eletrônicos, o *player* implementa um mecanismo de controle de eventos. Caso a aplicação tenha um evento a ser controlado, o *player* verifica (a cada 500ms), através de webservices, a ocorrência dos mesmos, para exibir uma animação, reproduzir um áudio ou exibir uma outra cena. Para a interação com robôs educacionais e dispositivos eletrônicos, o *player* implementa um módulo de definição dos comandos a serem enviados para o dispositivo e aguarda as respostas na mesma estrutura de eventos utilizada para os fantoches eletrônicos. Para a integração das aplicações com a mesa tangível, os eventos são utilizados da mesma forma que os requisitos.

O *player* ainda possui mecanismos para armazenar os registros qualitativos e quantitativos que permitem acompanhar o desempenho e o progresso na execução das atividades da aplicação para a mesa tangível. Um módulo adicional foi criado para oferecer um gerenciamento da aprendizagem e execução da aplicação, onde é permitido cadastrar e identificar os estudantes e definir quais atividades cada um vai realizar. Também foram criados mecanismos para a realização do registro e análise de todas as informações de uso, interações nas áreas das cenas, dos dados de acertos, erros e evoluções da aprendizagem, de forma individualizada.

No caso de execução de uma aplicação criada com o mecanismo de avaliação habilitado, o *player* possui um agente ativo que pode repetir as instruções sonoras, exibir as cenas de lições

de reforço ou as cenas de dicas, de acordo com o conteúdo e nível de dificuldade, quando for detectado que o estudante está com dificuldade na resolução, demorando para responder, apresentando erros constantes ou quando ele explicitamente solicitar a ajuda. Ele também pode sugerir repetições na execução das atividades quando o desempenho não é adequado ou pode ser melhorado e também registra e alerta quando o estudante não está realizando a tarefa com a devida atenção, não está aguardando o término das instruções e orientações da atividade ou realizando as interações baseadas em tentativa e erro. Este módulo somente fica disponível caso a aplicação tenha sido criada com as propriedades de avaliação ativadas e devidamente especificadas, mas pode ser desabilitado a qualquer momento pelo educador ou mediador da atividade.

Todas as interações no sistema podem ser registradas e formam uma base de conhecimento, que é usada pelo agente para determinar os tempos e ações das próximas interações. Além disso, ao final de cada atividade ou tarefa, o sistema permite registrar uma avaliação pelo educador ou mediador da atividade, informando se, na avaliação dele, o estudante cumpriu ou não (no todo ou em parte) com o objetivo da atividade. Esta informação também é incorporada na base de dados e é considerada pelo sistema na avaliação da tomada de decisão para propor diferentes ações para o aprendiz.

O player permite ainda, para avaliações ou pesquisas, os registros de informações adicionais de cada cena, provenientes de mecanismos e dispositivos externos e implementados através de webservices, como, por exemplo, o nível de concentração, atenção ou estresse a partir de análise de imagens de uma webcam ou de interpretação dos sinais dos eletrodos de um aparelho de eletroencefalograma (EEG) ou de qualquer outro fator que possa ser medido com um sensor, como luminosidade, temperatura, nível de CO<sub>2</sub>, barulho, dentre outros. Para tal, no player é realizado um cadastro no qual consta a descrição do item avaliado e a URL do webservice que disponibiliza a leitura da informação e, para cada início e final de cena, a leitura do dado é realizada e armazenada juntamente com os registros de execução da aplicação para posterior análise.

#### **5.3.4 Integração e comunicação com outras tecnologias**

Para atender os requisitos da plataforma Nidaba, que é a integração das tecnologias, o Eduba Editor e o Nidaba *Player* permitem a integração com os fantoches eletrônicos do Asistranto (LIMA, PASSERINO, *et al.*, 2019), com o ambiente de realidade virtual, com os robôs educacionais e com dispositivos eletrônicos baseados em Arduino ou Raspeberry Pi.

#### 5.3.4.1 Interface para o Asistranto

Além do Eduba Editor criar aplicações para a mesa tangível, ele apresenta um módulo para servir de interface para o Asistranto (LIMA, PASSERINO, *et al.*, 2019), com interação com os fantoches eletrônicos. Ao invés de utilizar o Processing para realizar a programação das aplicações, como na proposta original, o editor desenvolvido permite a criação de cenas e animações a partir da programação dos eventos de leitura das etiquetas RFID dos fantoches, de modo mais simples e intuitivo. Esse módulo de edição para o Asistranto pode ser utilizado tanto com os fantoches de modo isolado ou em conjunto com a mesa tangível. Nesse módulo, toda a estrutura para a criação das cenas, com imagens, animações, sons e vídeos é a mesma utilizada para a mesa tangível, porém interage aos eventos de leitura de etiquetas RFID do Asistranto, através de Arduino/ESP12 NodeMCU e chamada de *webservices*, ao invés de esperar eventos da mesa tangível (através do reactIVision e TUIO).

A Plataforma Educacional Assistiva Asistranto (LIMA, PASSERINO, *et al.*, 2019) tem o objetivo de apoiar a promoção de cenas de atenção conjunta por meio de uma ação mediadora colaborativa. As cenas de atenção conjunta são interações sociais nas quais as crianças e adultos prestam conjuntamente atenção a uma terceira coisa por um período razoável de tempo. Ela permite a criação de atividades pedagógicas baseadas em contação de histórias, exibição de imagens, animações, reprodução de sons e interação com fantoches eletrônicos.

Um dos problemas no uso do Asistranto é a dificuldade de criação de atividades pedagógicas devido à complexidade do software e hardware envolvidos e a necessidade de conhecimento e domínio da lógica de programação para uso do Processing (FRY, REAS, 2001), além de outros conhecimentos técnicos durante a execução da aplicação com o ambiente de comunicação baseado no MQTT (LIGHT, 2017). Outra dificuldade é a inexistência de softwares específicos para este tipo de tecnologia, especialmente para uso no ambiente educacional.

O módulo do Eduba Editor para o Asistranto foi implementado como uma aplicação web, utilizando HTML5, CSS e JavaScript e a interação com os fantoches eletrônicos é realizada com *webservices*, desenvolvidos em PHP. Neste novo ambiente, o editor substitui o Processing e os *webservices* substituem o MQTT, executados sobre uma versão local (*portable*) do Apache com PHP e MySQL e a configuração e escolha das etiquetas RFID e os respectivos eventos gerados por elas pode é realizado de modo fácil e intuitivo nas cenas e elementos do editor, além de não depender de conexão com a Internet para sua execução. Também é possível

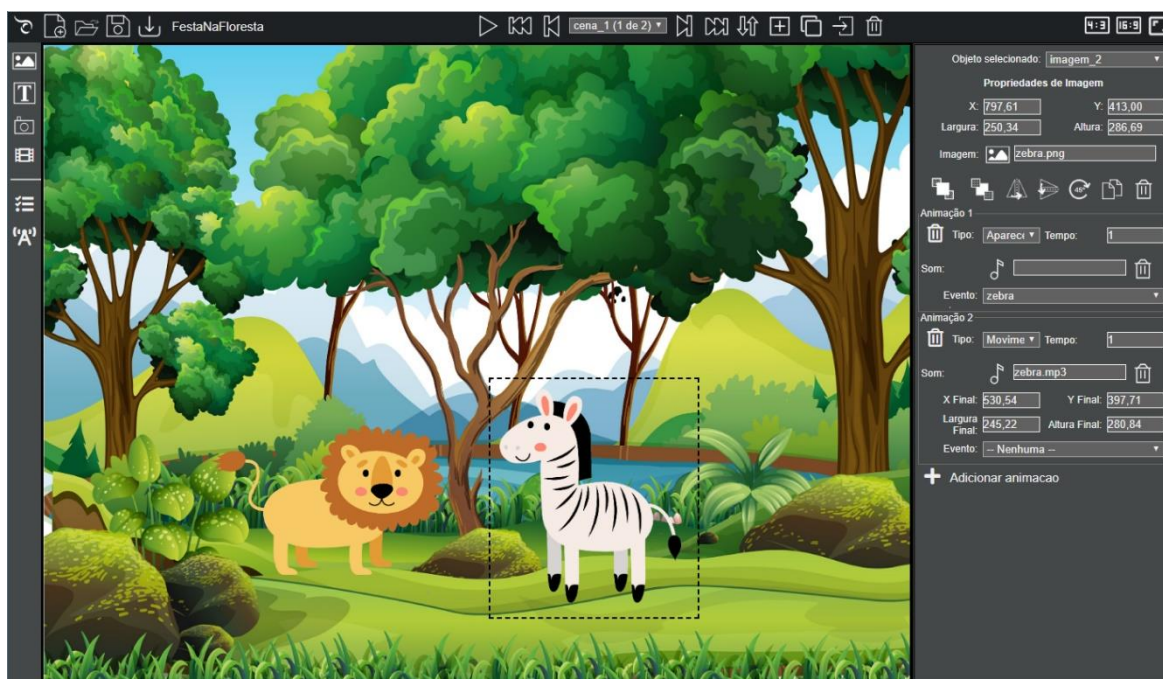
usar o Eduba Editor e executar a aplicação para o Asistranto na versão online da plataforma Nidaba. Com esta abordagem, os dispositivos eletrônicos instalados nos fantoches tentarão a comunicação local e, não estando disponíveis, automaticamente redirecionam para a plataforma online, da Internet.

Nesta nova implementação, o leitor de RFID continua inserido no fantoche, ligado a um nodeMCU-Esp8266 que se conecta a um *hotspot* Wi-Fi disponibilizado por um servidor local, que pode ser um notebook ou computador. Neste servidor, além do *hotspot* Wi-Fi, executam os *webservices* que serão acessados pelo editor e pelos nodeMCU dos fantoches. Ao fazer uma leitura de uma etiqueta RFID, o programa do nodeMCU do fantoche faz uma chamada a um *webservice* do seu *gateway*, enviando a identificação da etiqueta RFID lida. Se o editor estiver sendo utilizado para desenvolvimento da aplicação, esse identificador será usado para fazer os cadastros; se estiver executando uma aplicação, ela disparará os eventos de animações definidos.

A interface é semelhante ao editor para aplicações para a mesa tangível, com um botão para configurar os eventos de etiquetas RFID ao invés de áreas de interação e feedback. Uma diferença neste módulo é que as imagens permitem a configuração de várias animações sequenciais e sons (fig. 42) que, por sua vez, podem ocorrer depois de um tempo pré-programado ou a partir de um evento de leitura de uma etiqueta RFID escolhido numa caixa de seleção. Para isto, um controle de eventos foi incorporado ao Eduba Editor e integrado ao controle de requisitos do mesmo. Na interface, nas propriedades dos elementos, os eventos são configurados do mesmo modo que os requisitos da aplicação.

As etiquetas RFID são configuradas de modo intuitivo (fig. 43) a partir do respectivo botão (da barra da esquerda do editor) que exibe a caixa de propriedades, onde pode-se adicionar uma nova etiqueta RFID e dar um nome significativo para a mesma (esses nomes serão exibidos nas caixas de seleção das animações dos objetos) ou para adicionar etiquetas RFID de controle, que serão usadas durante a execução para ir para a próxima cena, cena anterior ou para uma cena específica. A identificação do RFID pode ser digitada manualmente ou capturado a partir do leitor do fantoche. Enquanto o foco estiver no campo de digitação do identificador do RFID, o editor fica também esperando uma leitura de etiqueta (via chamada assíncrona de um *webservice*), ou seja, basta encostar a etiqueta no leitor RFID do fantoche para cadastrar a identificação no editor.

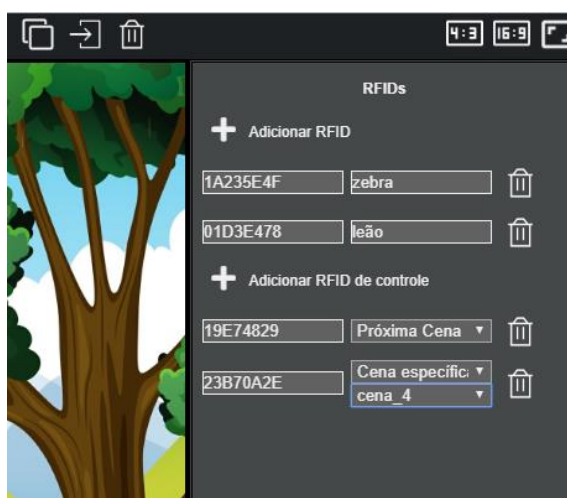
Figura 42 – Interface do editor de animações do Asistranto



Fonte: do autor

Do mesmo modo que a aplicação para a mesa tangível, a aplicação para o Asistranto gerada é executada num navegador web, onde as cenas e animações são exibidas numa tela ou num projetor e os respectivos sons serão reproduzidos, de acordo com os tempos pré-definidos ou quando os eventos de leitura de etiquetas RFID, que estão nos fantoches e dedoches ocorrerem.

Figura 43 – Interface para configuração das etiquetas RFID



Fonte: do autor

Os testes do Eduba Editor para o Asistranto, com os fantoches nesse novo ambiente de execução, com o editor e o player sendo executados a partir de um navegador web foram



realizados em laboratório, utilizando um computador desktop com Wi-Fi e também com um notebook. Nos testes foi utilizado o *hotspot* do Windows 10 e o novo editor do Asistranto foi instalado. Tanto com o computador desktop quanto com o notebook, o desempenho e o funcionamento foram satisfatórios. Inicialmente, o nodeMCU parou de se comunicar com os webservices depois de alguns minutos (10 a 15) de inatividade, apesar de realizar as leituras dos RFIDs. Foi implementado um serviço para manter a conexão ativa, que envia a cada minuto uma comunicação para o servidor, informando que o mesmo está ativo e espera a resposta; se a resposta não retornar, a comunicação é reinicializada. Isso resolveu os problemas de falhas na comunicação, mesmo com inatividades superiores a duas horas.

O nodeMCU foi fixado no fantoche, alimentado com duas baterias recarregáveis de lítio de 3.7v/4000mAh ligadas em série. O consumo do nodeMCU foi de 105mA, sendo usado por mais de 20 horas sem necessidade de recarga da bateria. Essa bateria com total capacidade, pode ser utilizada por mais de 35 horas sem necessidade de recarga.

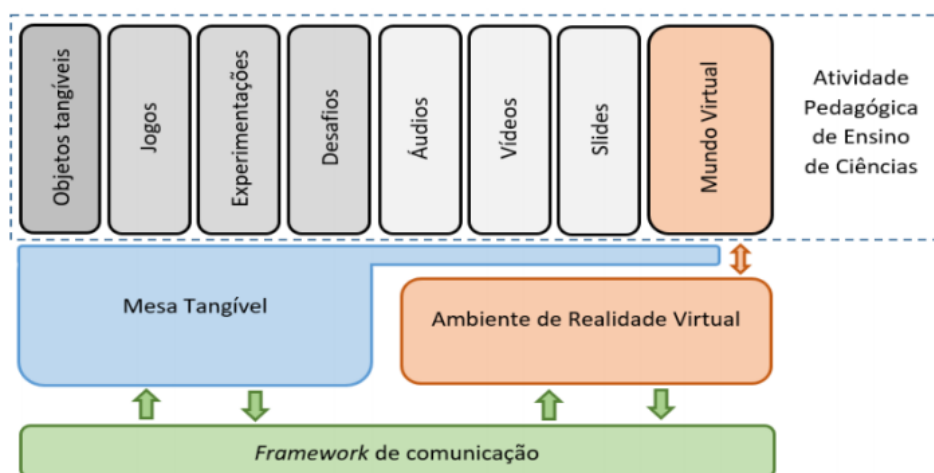
Este novo ambiente de desenvolvimento alterou o módulo Processamento Multimídia do Asistranto, mas, apesar do acréscimo de funcionalidades e da facilidade no desenvolvimento, não alterou as características pedagógicas do trabalho de Lima (2018), que já havia testado e validado a proposta.

#### 5.3.4.2 Ambiente de Realidade virtual

A comunicação entre a mesa tangível e o ambiente de realidade virtual (RV) se dá através de bibliotecas de comunicação especialmente desenvolvidos na plataforma Nidaba. A Figura 44 apresenta a integração entre a mesa tangível e o ambiente de RV na execução de uma atividade pedagógica.

Para o uso do ambiente de RV com a mesa tangível foi desenvolvido um programa que permite a exibição do ambiente de realidade virtual na superfície da mesa tangível. Ele também permite a movimentação do avatar no mundo virtual com a movimentação de um objeto tangível, sob a forma de um boneco, sobre a superfície da mesa. Ao movimentar o objeto real, com a forma de boneco, sobre a superfície da mesa, com movimentos para frente ou para os lados, o avatar do ambiente virtual se movimenta nos mesmos sentidos. Outros objetos reais podem ser utilizados para emular e substituir o clique do mouse para pegar objetos no mundo virtual. Assim, ao colocar um objeto real com a forma de mão sobre a superfície da mesa tangível, o avatar do mundo virtual “pega” o objeto que foi selecionado.

Figura 44 – Integração da mesa tangível e realidade virtual



Fonte: (GLUZ, PASSERINO, *et al.*, 2018)

Para a integração de RV com as atividades da mesa tangível foi desenvolvido um webservice que é ativado a partir do ambiente de RV, passando as informações sobre qual cena e qual desafio será invocado. Ao ser acionado, o webservice alterna a exibição do ambiente de RV com o *player* da mesa tangível, exibindo o desafio ou a atividade, de acordo com o parâmetro passado ao webservice. Ao finalizar a execução do desafio da atividade da mesa tangível, o *player* da mesa tangível invoca o webservice, passando os parâmetros sobre a execução da tarefa, como sucesso ou falha e o score, que é retornado via webservice para o ambiente de RV. A exibição da atividade da mesa tangível é encerrada e o ambiente de RV é novamente exibido na superfície da mesa tangível, para continuar sua execução.

A integração da mesa tangível com o ambiente de realidade virtual (RV) foi realizado para a conclusão da dissertação de mestrado envolvendo um mundo virtual, num ambiente de ensino tridimensional tangível (BAIERLE, 2019) e permitiu a criação do ambiente de ensino virtual tangível (AVT) (GLUZ, PASSERINO, *et al.*, 2018), com integração de uma mesa tangível e um ambiente de Realidade Virtual (RV) 3D para executar e apresentar atividades pedagógicas para a formação de conceitos científicos. A atividade pedagógica envolveu a interação com objetos tangíveis na superfície da mesa para realizar experimentações, resolver desafios e jogos e interagir com o mundo virtual.

O protótipo para a integração de RV com as atividades da mesa tangível foi desenvolvido durante o ano de 2019 e incluiu a construção de uma aplicação de desafio na mesa tangível para uma das cenas da história educativa “Aventuras em Itapeva”, o design dos personagens 3D da história (AMARAL, 2018), o design e a criação do mundo virtual contendo todas as cenas dessa história e o software dos agentes pedagógicos (BAIERLE, 2019). No

segundo semestre de 2019 este protótipo foi submetido a uma série de experimentos e testes em laboratório para validar as funcionalidades (fig. 45).

Figura 45 – Testes da integração da mesa tangível com ambiente de realidade virtual



Fonte: do autor

No experimento, a aplicação inicia com a exibição do ambiente 3D na superfície da mesa tangível e a movimentação do avatar através da movimentação do objeto real sobre a mesa. Após navegar no ambiente e cumprir desafios, pegando os objetos necessários com o uso de um objeto no formato de mão, ao chegar num local específico do ambiente, a aplicação do ambiente virtual é suspensa e é exibida a aplicação da mesa tangível com um desafio. Ao cumprir o desafio da mesa tangível a aplicação se encerra e é exibido novamente o ambiente virtual para continuar o “passeio no parque”.

Os resultados destes testes foram positivos, com o ambiente virtual permitindo uma exploração mais livre do cenário e com desafios e a mesa tangível oferecendo a possibilidade de realizar desafios com mais elementos e precisão, alternando de modo dinâmico e integrado as duas aplicações. Isto indica que o eixo tecnológico do ambiente está de acordo com as necessidades e requisitos especificados e o ambiente está pronto para ser usado em experimentos no contexto educacional inclusivo.

#### 5.3.4.3 Comunicação com robôs e dispositivos eletrônicos

O Eduba Editor possui um módulo de comunicação com robôs educacionais e dispositivos eletrônicos baseados em Arduino, nodeMCU - Esp8266 e Raspberry Pi, no qual é

possível configurar e enviar comandos e aguardar as respostas. Neste módulo, as respostas são identificadas e tratadas de modo semelhante aos eventos de leitura de RFID do módulo dos fantoches eletrônicos.

Este módulo pode ser utilizado somente com os robôs e dispositivos eletrônicos ou pode ser integrado às aplicações da mesa tangível e dos fantoches eletrônicos do Asistranto. Um protocolo de comunicação foi definido, composto pelo identificador do dispositivo (destinatário), o identificador do remetente, uma *string* de 8 bytes (comando) e um número (parâmetro). Essa mensagem é enviada para o dispositivo através de *webservice* e, dependendo do comando, uma resposta no mesmo formato é aguardada. Este protocolo permite também a troca de mensagens entre os dispositivos. Um conjunto básico de comandos foram implementados para a interação com os robôs e dispositivos *display touch screen*,

A interação com os robôs envolve basicamente os comandos de movimentação dele (andar para frente, para trás, virar à esquerda ou à direita), seguir uma linha (até chegar em uma encruzilhada, até encontrar uma etiqueta RFID ou até o final) ou até chegar próximo a um objeto. Dependendo do comando, quando a situação definida ocorre, o robô para e uma mensagem é enviada de volta para o ambiente de execução do Nidaba *player*, informando o evento ocorrido e aguardando um novo comando.

O dispositivo eletrônico *display touch screen* permite exibir perguntas para o usuário e esperar uma resposta através do toque na tela interativa do display, como, por exemplo, quando o robô está seguindo uma linha e chega numa encruzilhada, ele envia uma mensagem para o ambiente de execução do Nidaba *player*, que envia uma mensagem para o *display touch screen* exibindo a pergunta na tela, questionando o usuário se ele quer ir para a esquerda ou para a direita; na tela é exibida a pergunta e é aguardado o toque na tela, de acordo com a opção escolhida. Após a escolha, uma mensagem é enviada de volta para o ambiente de execução do Nidaba *player*, que processa o evento, exibindo animações, reproduzindo um áudio ou exibindo uma nova cena e envia o comando com a nova instrução para o robô, de acordo com a escolha do usuário. Outras perguntas que foram implementadas foram: sim ou não, escolha de cor e escolha de um número.

O módulo de comunicação dos dispositivos robóticos e eletrônicos foi desenvolvido para permitir a definição de um protocolo de comunicação e integração destes dispositivos com a plataforma Nidaba e com a implementação de comandos básicos para os robôs e para o *display touch screen*, de modo a permitir a realização dos testes para validar a proposta. Outras pesquisas vinculadas a duas teses de doutorado (PPGIE) estão em andamento, nas quais os

comandos para os robôs educacionais e para outros dispositivos eletrônicos serão ampliados e integrados ao Eduba Editor, pois isso envolve também a programação destes. Dentre as possibilidades de uso de outros dispositivos eletrônicos estão o uso de etiquetas RFID, sensores de presença ou de luminosidade, de feedback háptico com motores e vibração e uso de alto-falantes ativos e inteligentes, que podem reproduzir sons específicos para a criação de ambientes imersivos.

## 6 ANÁLISE

Para o desenvolvimento da Plataforma Nidaba, inicialmente foi necessário realizar o levantamento de necessidades pedagógicas, questões de acessibilidade e de atividades cognitivas para a interação tangível no contexto inclusivo através de referencial bibliográfico. Além disso, foi necessário conhecer e analisar uma ferramenta de autoria para produção de recursos para uma mesa tangível. O KitVision foi o editor escolhido por ser uma ferramenta com as características desejadas, atender as nossas necessidades iniciais e estar disponível para *download*, além de contarmos com a parceria e suporte dos responsáveis pelo seu desenvolvimento. Ele foi utilizado durante um semestre pela equipe de pesquisa e por estudantes de graduação e pós-graduação para produção de aplicações para a mesa tangível.

Com o seu uso, foram identificadas várias limitações e observamos o potencial que teríamos se tivéssemos uma ferramenta de autoria com um editor com mais recursos, mais intuitivo e que pudesse ser expandido para integrar a mesa tangível com robôs educacionais, fantoches eletrônicos e realidade virtual. Isso motivou e desencadeou o processo de desenvolvimento de um novo editor e sua integração com os demais dispositivos robóticos e eletrônicos, formando a plataforma educacional tangível Nidaba. O levantamento de necessidades pedagógicas, questões de acessibilidade e de atividades cognitivas para a interação tangível resultou na especificação dos requisitos da aplicação (capítulo 5.2) e continuou sendo realizado, resultando nos aprimoramentos realizados no editor desenvolvido, com a inclusão de novas funcionalidades (apêndice D).

A partir da experiência com a montagem da mesa tangível para a pesquisa relacionada à tese de Vieira (VIEIRA, 2018) e o seu uso em atividades de produção de recursos educacionais tangíveis, nas disciplinas da graduação e pós-graduação da UFRGS, duas mesas tangíveis baseadas em visão computacional foram desenvolvidas e aprimoradas de acordo com orientações e descrições de Shaer e Hornecker (2009) e adaptadas para a realidade da educação inclusiva, nas quais foram testadas diferentes formas de montagem, câmeras, iluminadores e projetores. As duas mesas tangíveis desenvolvidas foram instaladas na sala de recursos do atendimento educacional especializado em duas escolas públicas: uma de Canoas e outra de Porto Alegre (fig. 46).

Figura 46 – Mesas tangíveis desenvolvidas e instaladas nas escolas



Fonte: do autor

A seguir são apresentadas a análise do uso do KitVision durante um semestre, a análise da usabilidade do Eduba Editor durante cinco semestres, a análise da motivação intrínseca das atividades de criação de aplicações para mesa tangível e da utilidade deste tipo de tecnologia.

## 6.1 ANÁLISE DO KITVISION

O KitVision (BONILLO, MARCO, *et al.*, 2019) é uma ferramenta de autoria com um editor interativo para criar aplicações para serem executadas numa mesa tangível. A partir do seu uso em atividades de pesquisa é que surgiu a necessidade de desenvolvimento de um novo editor, que tivesse todas as principais características do KitVision e agregasse novos recursos. Sua análise busca identificar as características necessárias que devem ser incorporadas no novo editor e identificar as funcionalidades que ele não possui ou que podem ser aprimoradas, para auxiliar no objetivo de realizar o levantamento de necessidades pedagógicas, questões de acessibilidade e de atividades cognitivas para a interação tangível no contexto inclusivo. As principais características do KitVision são:

- Possui uma interface interativa para a criação das aplicações para mesa tangível baseada na escolha dos elementos e seu posicionamento com cliques na tela, arrastando e soltando ou redimensionando;
- A aplicação é formada por um conjunto de tarefas;

- Em cada tarefa, podem ser inseridas imagens, áudio de fundo, animações em Flash e as áreas de interação;
- Nas áreas de interação são definidos os marcadores fiduciais corretos e incorretos e o respectivo feedback visual ou sonoro;
- Há a opção de especificar o grau de rotação correto e incorreto de cada marcador fiducial;
- Ao final da edição um arquivo XML é gerado para execução no player da mesa tangível.

As principais limitações deste editor são:

- É implementado com tecnologia proprietária da Adobe e possui incompatibilidades com a versão atual do Adobe Air (versão 29.0), sendo necessário utilizar uma versão mais antiga (versão 20.0);
- Permite somente animações em Flash. Não permite a utilização de vídeos nos formatos MP4 (H.264) WebM e nem GIFs animados;
- Não permite animações com as imagens;
- Permite somente aplicações lineares, com a exibição das tarefas sequencialmente, sem possibilidade de criar menus ou realizar escolhas;
- Não permite feedbacks mais completos no caso de erros cumulativos na mesma área de interação;
- Permite demarcação somente de áreas quadradas ou retangulares;
- O grau de rotação correto especificado para os marcadores fiduciais exige uma grande precisão no posicionamento e rotação, não permitindo pequenas tolerâncias;
- Não permite o registro de desempenho na atividade nem marcação de categorias de conteúdos e habilidades para acompanhamento do desempenho de cada aluno;
- Apresenta problemas de posicionamento das áreas de interação quando utilizado em diferentes resoluções e proporções de tela;
- Não é tolerante a falhas e não há salvamento automático. Se ocorre algum problema na edição, como um nome de arquivo com caractere especial, por exemplo, o XML da aplicação fica corrompido e a atividade não é mais carregada;



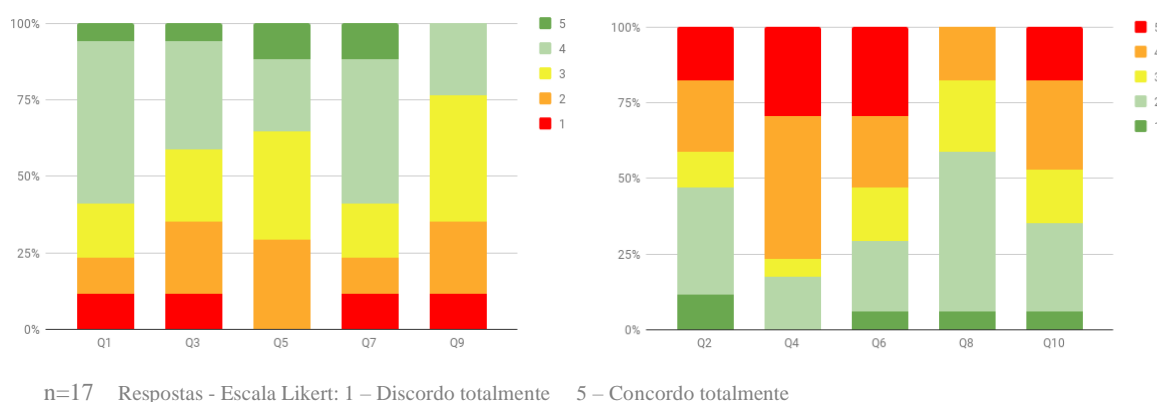
- O assistente gráfico do KitVision permite criar apenas aplicações lineares. Para criar aplicações não lineares é necessário programar diretamente no formato XML do KitVision;

O KitVision foi utilizado pelos estudantes de uma turma da disciplina de educação inclusiva e acessibilidade de um curso da área de educação da UFRGS para desenvolver atividades educacionais para crianças com deficiência. Ao final da atividade, que envolveu 6 semanas de aula, 17 estudantes responderam a um questionário de avaliação de usabilidade SUS (*System Usability Scale*) (BROOKE, 1996).

O resultado do questionário apresentou um escore de 48,7. Isso representa problemas de usabilidade no editor, pois a média de escore do SUS é de 68 pontos, ou seja, escores abaixo de 70 pontos indicam problemas de usabilidade e escores abaixo de 60 indicam usabilidade inaceitável.

O detalhamento das respostas do questionário SUS é apresentado nos gráficos da figura 47. As questões são baseadas numa escala Likert, onde a resposta 1 equivale ao discordo totalmente e a resposta 5 equivale ao concordo totalmente, com as questões ímpares com perguntas afirmativas, com a maior nota sendo a melhor e as questões pares com perguntas negativas, com a menor nota sendo a melhor. No gráfico, é possível observar o percentual de respostas bem positivas (verde escuro) positivas (verde claro), neutras (amarelo), negativas (laranja) e bem negativas (vermelho), de acordo com as questões Q1 a Q10, descritas no apêndice B. Nele é possível perceber a predominância de respostas negativas e neutras, com destaque (negativo) para as questões Q3, Q4, Q5 e Q6.

Figura 47 – Detalhamento das respostas do SUS – KitVision



Fonte: do autor

As questões mais preocupantes em relação à usabilidade do KitVision é que os usuários em sua maioria indicaram que o editor não tem sido fácil de usar (Q3), acham que precisariam

de suporte técnico para usar o editor (Q4), indicam que as diferentes funcionalidades do editor podem não estar bem integradas (Q5) e acham que há muita inconsistência no editor (Q6).

Além das questões do SUS, quatro outras perguntas foram feitas. Duas perguntas usaram a escala Likert e duas com respostas abertas. Na questão Q11, 88% dos usuários acham o editor seria útil no ambiente profissional. Na questão Q12, 70% acham que podem ensinar os outros a usar o editor.

Sobre a falta de alguma funcionalidade no editor KitVision que poderia ser útil no ambiente profissional (Q13) as principais respostas foram: relacionados ao salvamento do jogo/atividade, com um botão para salvar, ser possível visualizar a aplicação antes de salvar, ser possível visualizar e testar a aplicação no editor, possuir um manual introdutório mais metodológico, salvamento e carregamento de versões prévias, permitir edição de imagens dentro do editor (ou pelo menos não distorcer as imagens), ter um manual padrão e básico e tutorial para ensinar os iniciantes e auxiliar no uso do editor, temporalidade entre as telas, um quadro geral com todos os fundos, a orientação deveria ter uma tolerância de graus, permitir mais formatos de arquivos e arquivos mais pesados e a criação de textos dentro do editor. Além disso, comentaram que há algumas limitações do editor que impedem o salvamento da aplicação, como espaços e acentos nos nomes dos arquivos de imagens ou áudios ou nos nomes das tarefas ou áreas, o que impedia o carregamento da aplicação e era necessário editar o arquivo XML para encontrar o erro.

Sobre os aspectos complexos ou difíceis de usar no editor KitVision (Q14), os principais comentários foram: problemas ao salvar o projeto e necessidade de alterações diretamente na programação, idioma da interface apenas em Espanhol, a área de interação de cada objeto muda a cada vez que se edita o jogo, a interface e a lógica de criação do jogo e alguns aspectos não são muito intuitivas e é segmentado, o que torna um pouco complexa a sua composição. Só foi possível criar atividades sequenciais diretas, não sendo possível propor atividades com múltiplas escolhas e possibilidades. Sentiram falta da numeração de páginas (tarefas) que possuem apenas o nome no editor. Ao adicionar vídeos e músicas o sistema apresenta falhas quando o arquivo é muito grande. O editor eventualmente trava e tem várias falhas.

Todos os aspectos e funcionalidades destacados e comentários sobre problemas encontrados ou necessidades no editor KitVision foram anotados e analisados e auxiliaram no levantamento de necessidades pedagógicas e questões de acessibilidade para a interação tangível no contexto inclusivo, bem como para a especificação dos requisitos do Eduba Editor.

## 6.2 ANÁLISE DA USABILIDADE DO EDUBA EDITOR

Como forma de validar o cumprimento do objetivo de criar um editor foi realizada uma avaliação de sua usabilidade. No desenvolvimento do Eduba Editor foram consideradas as heurísticas sugeridas por Nielsen (1994) e após o desenvolvimento, foram aplicados para os usuários do mesmo o questionário SUS - System Usability Scale (BROOKE, 1996).

As heurísticas sugeridas por Nielsen (1994) para tornar os ambientes digitais mais fáceis de serem utilizados foram levadas em conta durante desenvolvimento do Eduba Editor, nos seguintes aspectos, de acordo com cada heurística:

- a) **Visibilidade do status do sistema:** para mostrar de forma visual para o usuário onde ele se encontra e as etapas de uma tarefa, no editor há a exibição da cena e do nome da cena que está em edição, bem como a lista de todas as cenas da aplicação, com botões para ir para a primeira, anterior, para uma cena específica da lista de cenas, próxima ou última. Ao final dos botões de controle de cena e da lista das propriedades há um botão para adicionar novas cenas, facilitando a continuidade da tarefa. Os botões de elementos, à esquerda, representam a ordem de colocação dos mesmos na cena. Para cada elemento inserido na cena, as propriedades são exibidas à direita, com a lista de propriedades a serem preenchidas em ordem de exibição.
- b) **Compatibilidade entre o sistema e o mundo real:** as referências do mundo real são utilizadas no ambiente digital do editor, utilizando ícones que fazem referência ao objeto ou elemento em questão, além de buscar ser o mais semelhante possível a outros editores gráficos.
- c) **Controle e liberdade para o usuário:** existe a possibilidade de alterar ou excluir as ações e operações realizadas no editor. Além disso, é possível escolher o formato de proporção da tela (4:3 ou 16:9), utilizar em diferentes resoluções, visto que todas as propriedades de tamanho e posição dos elementos nas cenas são armazenadas internamente sob a forma de percentual em relação à resolução ao invés da quantidade de pixels, o que garante a compatibilidade com todas as resoluções e permite, inclusive, o uso a partir de dispositivos móveis.
- d) **Consistência e padronização:** para que o usuário tenha que aprender somente uma vez como executar uma tarefa, o editor procura manter os padrões de ações de outros programas, bem como a consistência e padronização de seus comandos, como botões relacionados ao arquivo da aplicação na parte superior, à esquerda,

como se fosse um menu, botões de elementos numa barra de ferramentas à esquerda e caixa de propriedades à direita

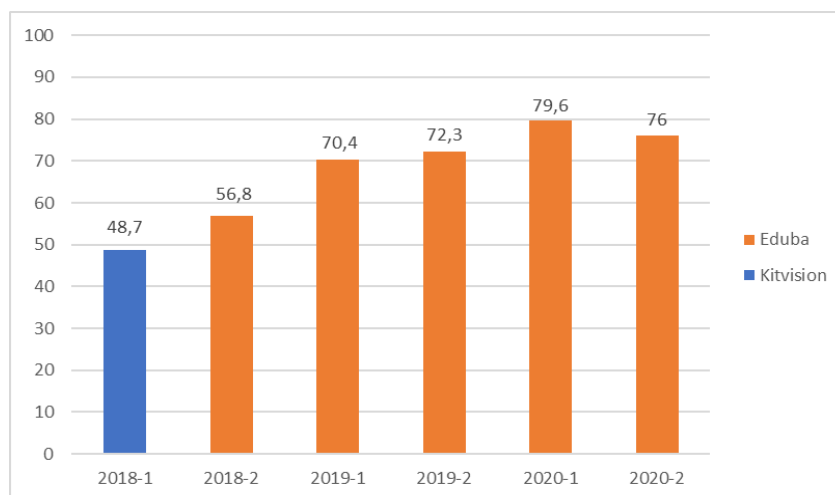
- e) **Prevenção de erros:** para proteger os usuários de ações inconscientes que possam prejudicar a edição da aplicação, o sistema faz salvamentos automáticos periodicamente e alerta o usuário evitando que ele feche ou saia da aplicação sem salvar, do mesmo modo que exige confirmação para exclusão de uma cena ou da aplicação. Porém, ao excluir ou alterar elementos da cena ou propriedades dos elementos, não há a exigência de confirmação para que haja mais fluência na execução.
- f) **Reconhecimento em vez de memorização:** para evitar que o usuário tenha que utilizar sua memória ao utilizar o editor, a interface busca auxiliar para que ele não tenha que acionar suas memórias, utilizando ícones significativos, exibindo dicas com a ação que o botão realiza ao colocar o mouse sobre ele, usando nomes significativos nos campos das propriedades, destacando o objeto selecionado e mudando o cursor do mouse de acordo com o contexto.
- g) **Eficiência e flexibilidade de uso:** para que todos usuários, especialmente os educadores que não dominam as ferramentas de desenvolvimento de aplicativos, consigam utilizar de modo eficiente o editor, todas as operações são baseadas em clicar no botão, clicar na tela para inserir o elemento, alterar o seu tamanho e posição redimensionando e arrastando com o mouse, escolher o áudio, vídeo ou imagem a partir de um clique no botão ou escolher a opção a partir de uma caixa de seleção. Toda a interação é intuitiva e não há a necessidade de usar ou escrever nenhum comando. Permite ainda, ir direto para uma cena específica, escolhida numa caixa de seleção e nela, também pode selecionar um elemento clicando sobre ele ou escolhendo numa caixa de seleção.
- h) **Estética e design minimalista:** como em regra, 80% dos usuários de um sistema utilizarão somente 20% de sua capacidade, o editor apresenta a interface com o mínimo de elementos visíveis, apresentando inicialmente somente as informações mais essenciais. Para cada elemento selecionado, somente as propriedades dele são exibidas. Para criar aplicações mais complexas, ele oferece recursos como os requisitos e avaliação de desempenho, cujas propriedades somente serão exibidas se o recurso estiver em uso, exibindo uma interface simples para aplicações básicas e, se for necessário, mais complexa.

- i) **Ajuda no reconhecimento, diagnostico e recuperação de erros:** o sistema impede a saída acidental da aplicação, emitindo um aviso e exigindo a confirmação, do mesmo modo que avisa para o salvamento antes de sair. Se ocorreu uma saída acidental, no próximo acesso ele avisa que existe um arquivo de salvamento automático e solicita ao usuário se ele quer ou não carregar esse arquivo de backup automático. O sistema também impede a exclusão de marcadores fiduciais (da lista de fiduciais) que estão em uso nas áreas de interação. A ação de desfazer a última ação é importante, caso ele tenha apagado acidentalmente um elemento ou alterado suas propriedades, mas ainda será implementada no editor numa versão futura.
- j) **Ajuda e documentação:** a ajuda com o manual de uso do sistema, tutoriais, dicas e exemplos está disponível no site do projeto e pode ser acessada a partir de um botão, na parte superior esquerda do editor.

O Eduba editor foi utilizado por sete turmas de uma disciplina de educação inclusiva, de um curso de graduação da área da educação da UFRGS, durante cinco semestres (2018-2 a 2020-2) e por estudantes de uma disciplina de um curso de pós-graduação da área de informática na educação, para desenvolver atividades pedagógicas sob a forma de aplicações para mesa tangível, para crianças com ou sem deficiência. Nas turmas de 2018-2 a 2019-2, cada turma foi dividida em grupos de 2 ou 3 alunos e cada grupo teve que criar e implementar a aplicação para a mesa tangível utilizando um protótipo do editor desenvolvido. Nas turmas 2020-1 e 2020-2 o ensino teve que ser na modalidade remota, devido à pandemia, e as atividades todas foram através do ambiente virtual de aprendizagem com o uso da versão online do Eduba Editor, com cada estudante fazendo a sua aplicação de modo individual. O número de participantes na pesquisa, que responderam os questionários, durante os 5 semestres foi de 59 (14, 7, 12, 13, 13, respectivamente, em 2018-2, 2019-1, 2019-2, 2020-1, 2020-2).

Após o desenvolvimento das atividades, em cada semestre foi aplicado o questionário SUS - System Usability Scale (BROOKE, 1996), que obteve os escores de 56,8 pontos em 2018-2, 70,4 pontos em 2019-1, 72,3 pontos em 2019-2, 79,6 em 2020-1 e 76,0 em 2020-2 (fig. 48). Os escores da avaliação de usabilidade (SUS) apresentam pontuação consideravelmente maior que a obtida com o editor KitVision, sendo essa pontuação crescente a cada semestre, refletindo o aprimoramento do editor com o acréscimo de funcionalidades, correção de erros e falhas e disponibilização de manual de uso e tutoriais.

Figura 48 – Escore de Usabilidade – SUS



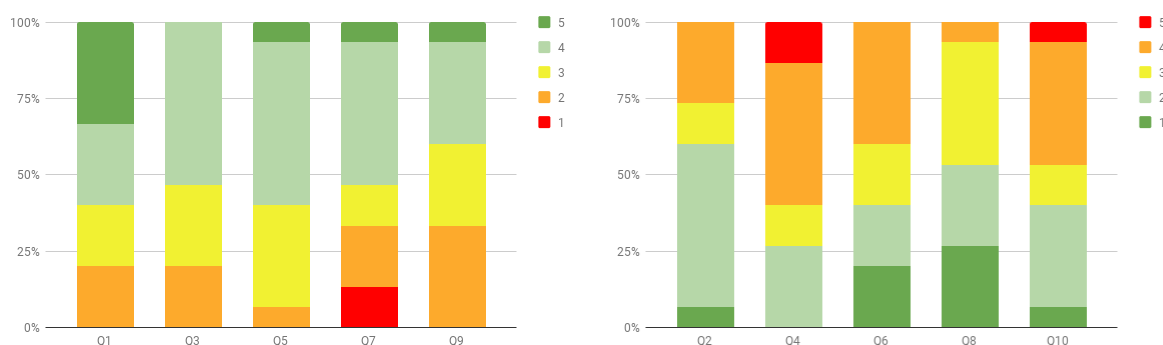
n = 76

Fonte: do autor

### 6.2.1 Questionário SUS de 2018-2

Com um escore de usabilidade (SUS) de 56,8 pontos em 2018-2, o editor apresentou problemas de usabilidade por ser o primeiro protótipo funcional, ainda com várias funcionalidades não implementadas e apresentando alguns erros e falhas. Apesar disso, apresentou um escore consideravelmente maior que o editor KitVision (48,7 pontos), utilizado no semestre anterior. Os principais problemas de usabilidade encontrados (fig. 49) foram relacionados à necessidade de suporte técnico para usar o editor (Q4), inconsistência no editor (Q6), falta de confiança ao usar o editor (Q9) e necessidade de aprender muitas coisas para começar a usar o editor (Q10). No gráfico também é possível analisar o percentual de respostas bem positivas (verde escuro), positivas (verde claro), neutras (amarelo), negativas (laranja) e bem negativas (vermelho).

Figura 49 – Detalhamento das respostas do SUS – Eduba 2018-2



n = 14

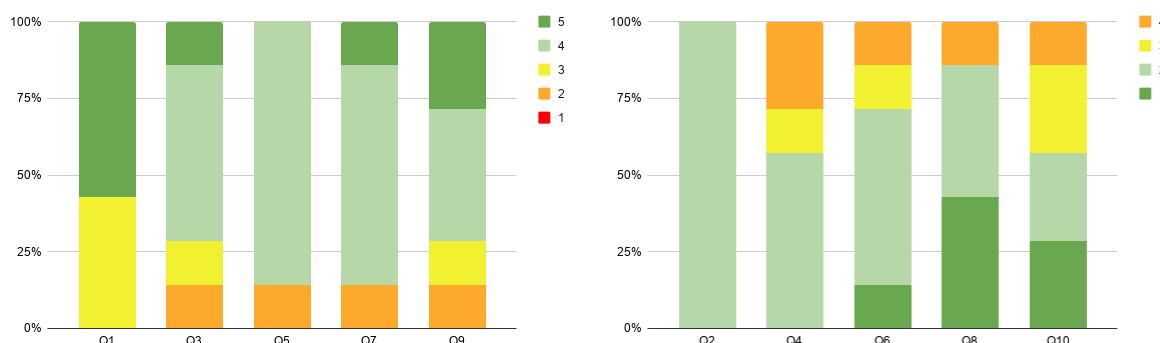
Fonte: do autor

Em relação à falta de alguma funcionalidade no editor que poderia ser útil em seu ambiente profissional (Q13), em 2018-2 as principais respostas foram: portabilidade do editor (uso online, difusão por .rar, etc.), colocar mais de um arquivo de som na mesma cena sem precisar de área de fiduciais, por exemplo, um áudio de música de fundo e outro para a fala de algum personagem, de perguntar antes de fechar o programa se gostaria de salvar, fazer movimentos com os personagens e inserir imagens que se adequam a cena, a possibilidade de que as áreas dos fiduciais apareçam somente apenas após o áudio explicativo terminar. Em relação aos aspectos do editor considerados complexos ou difíceis de usar (Q14), os principais foram relacionados ao controle do tempo depois dos áudios de feedback e a aspectos relacionados ao uso de imagens e feedback.

### 6.2.2 Questionário SUS de 2019-1

Com um escore de usabilidade (SUS) de 70,4 pontos em 2019-1, o editor não apresentou problemas de usabilidade, com um escore acima da média e aceitável. Por ainda ser um protótipo de produto, com todas as funcionalidades ainda não implementadas, os principais problemas de usabilidade relatados (fig. 50) foram relacionados a alguma necessidade de suporte técnico para usar o editor (Q4) e à necessidade de aprender muitas coisas para começar a usar o editor (Q10). No gráfico é possível observar um baixo percentual de respostas negativas (laranja) e a ausência de respostas bem negativas (vermelho).

Figura 50 – Detalhamento das respostas do SUS – Eduba 2019-1



n = 7

Fonte: do autor

Em relação à falta de alguma funcionalidade no editor que poderia ser útil em seu ambiente profissional (Q13), em 2019-1 as principais respostas foram: ter videoaulas para cada função, a opção de voltar ou desfazer alguma ação, ter um editor próprio de imagem, permitir editar imagem de fundo para que fique mais opaca, colocar cor no fundo de um texto. Em relação aos aspectos do editor considerados complexos ou difíceis de usar (Q14), os principais foram relacionados à área e configuração de fiduciais, diferentes cenas de resposta para diferentes fiduciais e a interação entre as páginas.

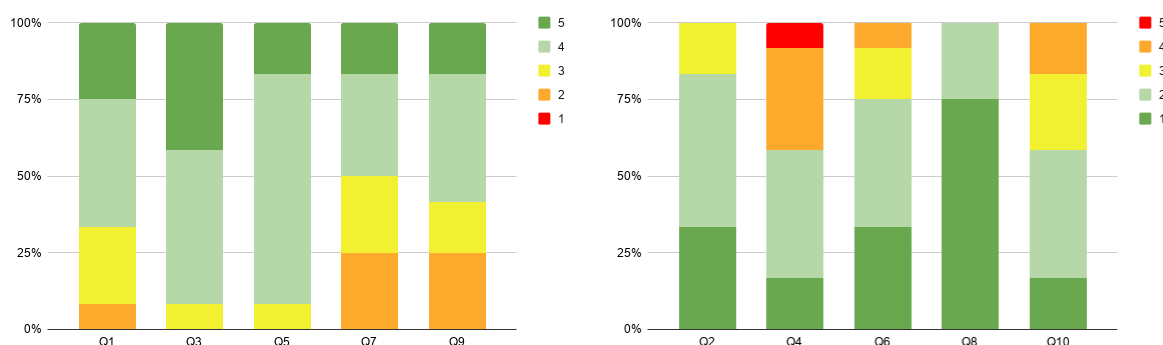
### 6.2.3 Questionário SUS de 2019-2

Com um escore de usabilidade (SUS) de 72,3 pontos em 2019-2, o editor apresentou uma usabilidade aceitável, com um escore acima da média. Novas funcionalidades foram implementadas no protótipo do editor, especialmente a possibilidade de definição de ordem e sequências nas interações. Isso aumentou as possibilidades de desenvolvimento, mas também aumentou um pouco a complexidade. Por ainda ser um protótipo de produto, mas com praticamente todas as funcionalidades implementadas, os principais problemas de usabilidade relatados (fig. 68) foram relacionados à alguma necessidade de suporte técnico para usar o editor (Q4) e à necessidade de aprender muitas coisas para começar a usar o editor (Q10). Esses problemas podem ter sido relatados pois ainda não havia um tutorial e material de apoio para orientar a produção dos recursos educacionais, além de ser necessário escolher e manipular as imagens de fundo e dos objetos, deixando o fundo das mesmas transparentes, criando GIFs animados, fazendo a gravação e edição dos áudios, produzindo os objetos tangíveis e integrando esses elementos através de um planejamento consistente da aplicação. No gráfico da figura 51



é possível observar que há um percentual pequeno de respostas negativas (laranja) e apenas uma resposta bem negativa (vermelho) na questão Q4

Figura 51 – Detalhamento das respostas do SUS – Eduba 2019-2



n = 12

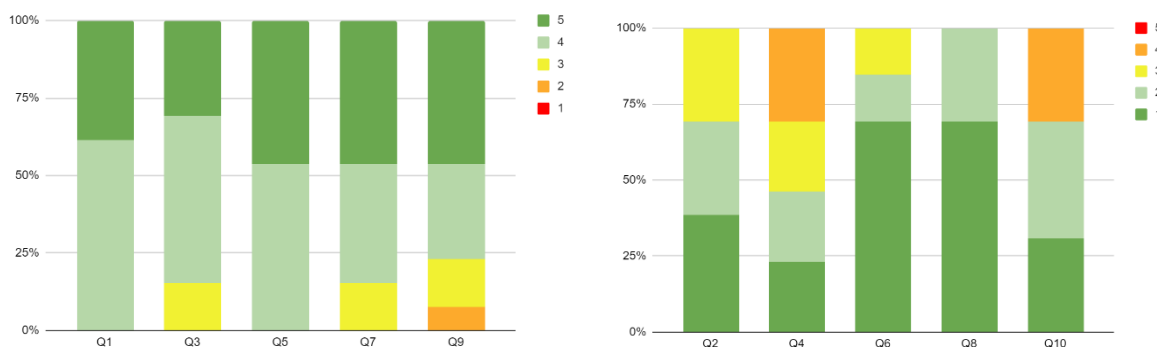
Fonte: do autor

Em relação à falta de alguma funcionalidade no editor que poderia ser útil em seu ambiente profissional (Q13), em 2019-2 as principais respostas foram: poder editar em qualquer computador, possuir um manual de uso e permitir as funcionalidades de copiar colar com as teclas padrão (Ctrl C + Ctrl V) e funcionalidade de desfazer (Ctrl Z). Em relação aos aspectos do editor considerados complexos ou difíceis de usar (Q14), os principais foram algumas funcionalidades dos marcadores fiduciais, os requisitos e a configurações da funcionalidade de movimento das imagens.

#### 6.2.4 Questionário SUS de 2020-1

Em 2020-1 a avaliação de usabilidade do Eduba Editor apresentou um escore de 79,6, indicando uma considerável melhora em relação à avaliação anterior, próximo ao limite da faixa que indica a usabilidade boa e excelente e com uma margem considerável em relação ao escore mínimo aceitável (68 pontos). É importante destacar que nesse semestre as aulas e atividades foram todas remotas devido à pandemia, através do ambiente virtual, e todos os estudantes utilizaram a versão online do editor, sem contato com a mesa tangível do laboratório. A figura 52 apresenta o gráfico com os percentuais de cada resposta, com destaque para os baixos percentuais de respostas com avaliação negativas (laranja) e a ausência de respostas com avaliações bem negativas (vermelho). Os principais problemas de usabilidade observados continuaram sendo os relacionados à alguma necessidade de suporte técnico para usar o editor (Q4), apesar de ter reduzido os percentuais negativos em relação aos semestres anteriores.

Figura 52 – Detalhamento das respostas do SUS – Eduba 2020-1



n = 13

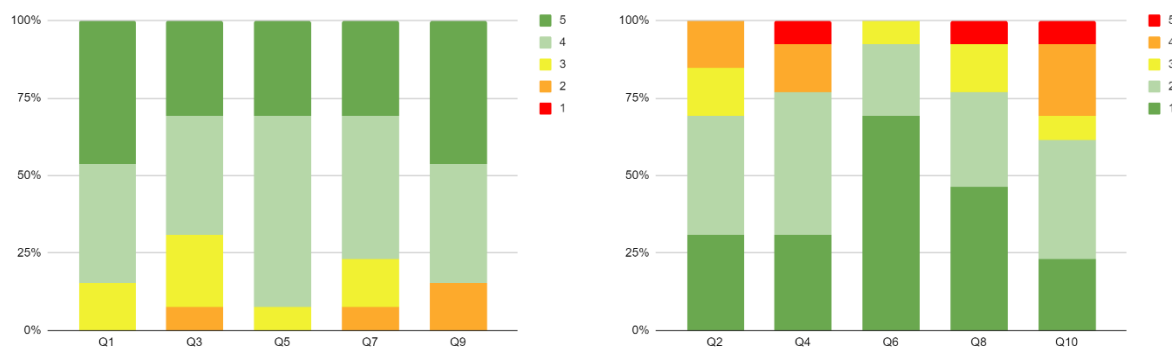
Fonte: do autor

Em relação à falta de alguma funcionalidade no editor que poderia ser útil em seu ambiente profissional (Q13), em 2020-1 as principais respostas foram: possibilidade de mudar a forma das áreas de interação, possuir régua para alinhar, centralizar elementos e manter uma margem. Em relação aos aspectos do editor considerados complexos ou difíceis de usar (Q14), os principais foram relacionados à sincronização da execução de vídeos somente depois do áudio de instrução e relacionar fiduciais com a área de interação.

### 6.2.5 Questionário SUS de 2020-2

Em 2020-2, também com atividades somente remotas, a avaliação de usabilidade do Eduba Editor apresentou um escore de 76,0, indicando uma pequena piora em relação à avaliação anterior, mas ainda com uma margem considerável em relação ao escore mínimo aceitável (68 pontos). A figura 53 apresenta o gráfico com os percentuais de cada resposta, com destaque para os baixos percentuais de respostas com avaliação negativa (laranja) e apenas uma resposta bem negativa (vermelho) nas questões relacionadas a alguma necessidade de suporte técnico para usar o editor (Q4), à forma como usar o editor (Q8), e a ter que aprender muitas coisas para começar a usar o editor (Q10). Em geral, a avaliação relacionada a alguma necessidade de suporte técnico para usar o editor (Q4), que foi o maior problema identificado nos semestres anteriores apresentou melhores percentuais de avaliação positiva.

Figura 53 – Detalhamento das respostas do SUS – Eduba 2020-2



n = 13

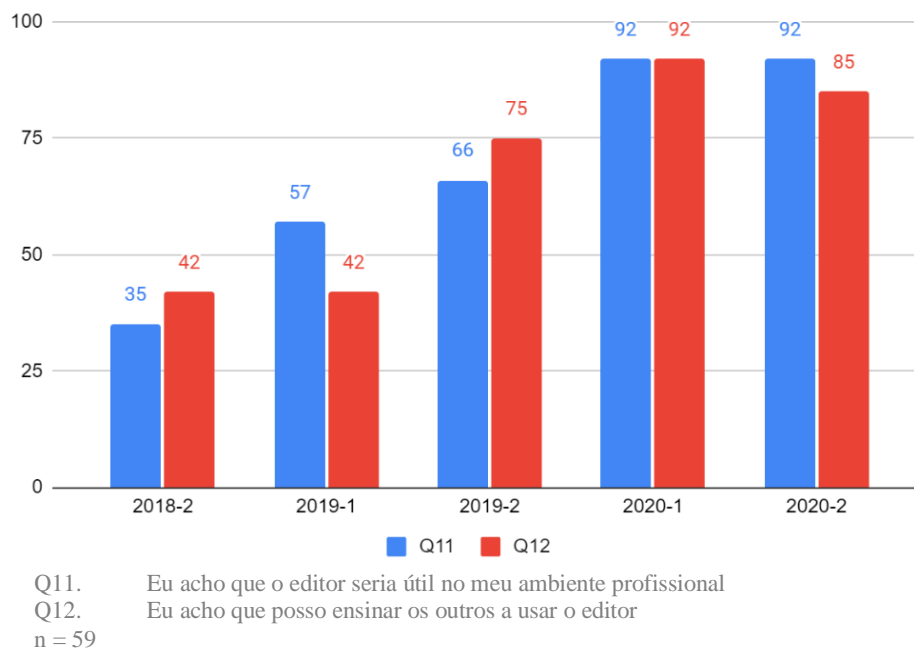
Fonte: do autor

### 6.2.6 Avaliação da utilidade e complexidade do Eduba Editor

Em relação à falta de alguma funcionalidade no editor que poderia ser útil em seu ambiente profissional (Q13), em 2020-2 as principais respostas foram: permitir criar desenhos na cena, adicionar recursos para experimentações artísticas, poder utilizar sensores de movimento para interagir com a mesa e permitir criar desenhos na mesa, um botão de desfazer a ação e compatibilidade com formatos de aplicativos produtores de conteúdo. Em relação aos aspectos do editor considerados complexos ou difíceis de usar (Q14), os principais foram relacionados à falta dos atalhos de teclado Ctrl C e Ctrl V, à configuração dos fiduciais corretos e incorretos e à parte de configuração e uso dos requisitos.

Em relação ao Eduba Editor poder ser útil no seu ambiente profissional (Q11), os percentuais de respostas positivas foram melhorando a cada semestre, partindo de 35% em 2018-1 e atingindo 92% em 2020-2, possivelmente pela visualização da possibilidade de construção de uma mesa de baixo custo e por poder utilizar as aplicações em computadores e dispositivos móveis de forma simulada. Em relação aos usuários acharem que poderiam ensinar os outros a usar o editor (Q12), as respostas positivas inicialmente eram de apenas 42% em 2018-2 e 2019-1, foram para 75% em 2019-2, atingiram 92% em 2020-1 e reduziu um pouco em 2020-2 para 85%, possivelmente pelas melhorias implementadas no editor e pela documentação do mesmo, com manual de uso, tutoriais, dicas e vídeos com exemplos. A figura 54 apresenta o percentual de respostas positivas das questões Q11 e Q12.

Figura 54 – Percentual de respostas positivas das questões Q11 e Q12



Fonte: do autor

A perceptível evolução nos índices avaliados foi obtida a partir do aprimoramento constante do Eduba Editor, imediatamente após o feedback e relatos feitos pelos usuários. Nesse caso, um dos fatores importantes foi a inclusão das funcionalidades necessárias pelos educadores num prazo não superior a uma semana, permitindo que o próprio usuário que relatou a necessidade pudesse utilizá-la na própria aplicação em desenvolvimento. Isso refletiu na mudança de avaliação dos usuários, alcançando um dos objetivos propostos no estudo, que é a adequação da plataforma às necessidades dos usuários e proporcionando uma maior utilidade da ferramenta. Outro fator importante para o ótimo índice de utilidade do editor no ano de 2020 foram a inclusão de um simulador e de funcionalidades para uso das aplicações em computadores e dispositivos móveis, proporcionando uma ferramenta interativa para uso no ensino remoto, além do uso em mesas tangíveis.

### 6.2.7 Avaliação estruturada da usabilidade do Eduba Editor

É possível também agrupar as perguntas do questionário SUS para uma avaliação estruturada, de acordo com os aspectos de facilidade de aprendizagem, eficiência, facilidade de memorização, minimização de erros e satisfação. O quadro 5 apresenta os resultados dessa análise sobre os dados do questionário SUS aplicados em 2020-1 e 2020-2, visto que em 2020 o editor já estava com uma versão com as principais funcionalidades implementadas e com boa parte da documentação, manuais e tutoriais disponíveis.

Quadro 5 – Análise da avaliação de usabilidade SUS - 2020

<b>Aspecto</b>	<b>Pergunta questionário SUS</b>	<b>Pontuação</b>
Facilidade de aprendizagem	3, 4, 7 e 10	73,8
Eficiência	5, 6 e 8	89,3
Facilidade de memorização	2	77,0
Minimização dos erros	6	93,0
Satisfação	1, 4 e 9	78,7

Fonte: do autor

De acordo com esse agrupamento, o Eduba Editor apresenta uma eficiência e minimização de erros excelente e uma boa facilidade de memorização, satisfação e facilidade de aprendizagem. A facilidade de aprendizagem é o aspecto com avaliação mais baixa e próxima do limite aceitável, o que indica que este é um aspecto que ainda merece atenção e pode ser melhorado.

Como avaliação final da usabilidade do Eduba Editor baseada no questionário SUS, os aspectos que estão com usabilidade aceitável, mas merecem atenção e podem ser melhorados são a complexidade do editor (Q2), a necessidade de suporte técnico para usar o editor (Q4) e a necessidade de os usuários terem que aprender muitas coisas para começar a usar o editor (Q10). Devido ao fato de que o usuário precisa inserir áreas de interação em cada cena e, para cada área, definir quais serão os marcadores fiduciais corretos e incorretos e os respectivos feedbacks visuais e sonoros, há uma certa complexidade no editor pela exigência desses elementos devidamente integrados e ainda mais perceptível quando se deseja uma aplicação mais elaborada com escolhas, menus e exigências de colocação em sequência e ordens. A necessidade de o usuário ter que aprender muitas coisas antes de usar o editor se justifica pelo fato de que é fundamental fazer um planejamento da aplicação, além da seleção e edição das imagens e gravações e edições dos áudios das cenas e feedbacks, onde detectou-se que 27% dos usuários não tinham experiência prévia com editores gráficos. Os demais aspectos de usabilidade do Eduba Editor estão todas consideradas boas ou excelentes.

A escolha do método de desenvolvimento incremental baseado em funcionalidades com entregas de uma nova versão a cada semana de uso permitiu a avaliação e revisão de cada uma das funcionalidades e a inclusão de novas funcionalidades (Apêndice D), de acordo com as demandas e necessidades apontadas pelos estudantes e educadores que estavam desenvolvendo suas aplicações com o editor. Apesar de que isto gerou avaliações com índices mais baixos nos primeiros protótipos, à medida que as funcionalidades iam sendo corrigidas e disponibilizadas, as avaliações melhoravam e é perceptível a constante melhora na usabilidade do Eduba Editor.

### 6.3 ANÁLISE DAS ATIVIDADES DE CRIAÇÃO DE APLICAÇÕES

Para avaliar a viabilidade e utilidade da proposta e a adequação da plataforma às necessidades educacionais, como parte das atividades de uma disciplina de graduação e de uma disciplina da pós-graduação relacionadas à educação inclusiva e tecnologia assistiva da UFRGS, foram realizadas atividades de planejamento e desenvolvimento de aplicações para mesa tangível, envolvendo aproximadamente 100 estudantes durante 6 semestres, de 2018 a 2020. Ao final das atividades, que envolvia de 6 a 8 semanas em cada semestre, os alunos responderam o inventário de motivação intrínseca IMI - *Intrinsic Motivation Inventory* (MCAULEY, DUNCAN, *et al.*, 1989).

Em 2018 e 2019 as atividades foram presenciais e em grupos de 2 ou 3 alunos, realizadas no laboratório de tecnologia assistiva da UFRGS, que conta com uma mesa tangível, desenvolvida para a tese de Vieira (VIEIRA, 2018) e aprimorada nos semestres seguintes. Em 2020, devido à pandemia, as atividades foram realizadas na modalidade de ensino remoto, com todas as atividades realizadas pelos estudantes em ambientes virtuais, de modo individual. No primeiro semestre de 2018 foi utilizada a ferramenta de autoria KitVision (BONILLO, MARCO, *et al.*, 2019). No segundo semestre de 2018 e no primeiro e segundo semestre de 2019 foi utilizado o Eduba Editor instalado nos computadores do laboratório e em 2020 a versão online do Eduba Editor.

A atividade em cada semestre foi realizada durante 6 semanas e consistiu em planejar uma aplicação que utiliza a mesa tangível para uso na educação inclusiva como tecnologia assistiva, contendo alguma característica que atenda às necessidades de estudantes com algum tipo de deficiência. Após o planejamento, as imagens foram selecionadas e editadas e os áudios foram gravados e a aplicação foi implementada, usando a ferramenta de autoria (editor). Em 2018 e 2019, os objetos reais foram confeccionados e a aplicação foi testada e apresentada na mesa tangível do laboratório. Em 2020, as aplicações foram apresentadas remotamente de modo simulado, usando o emulador e o *link* da aplicação foi disponibilizado, para que os demais colegas pudessem acessar, usar e testar e aplicação.

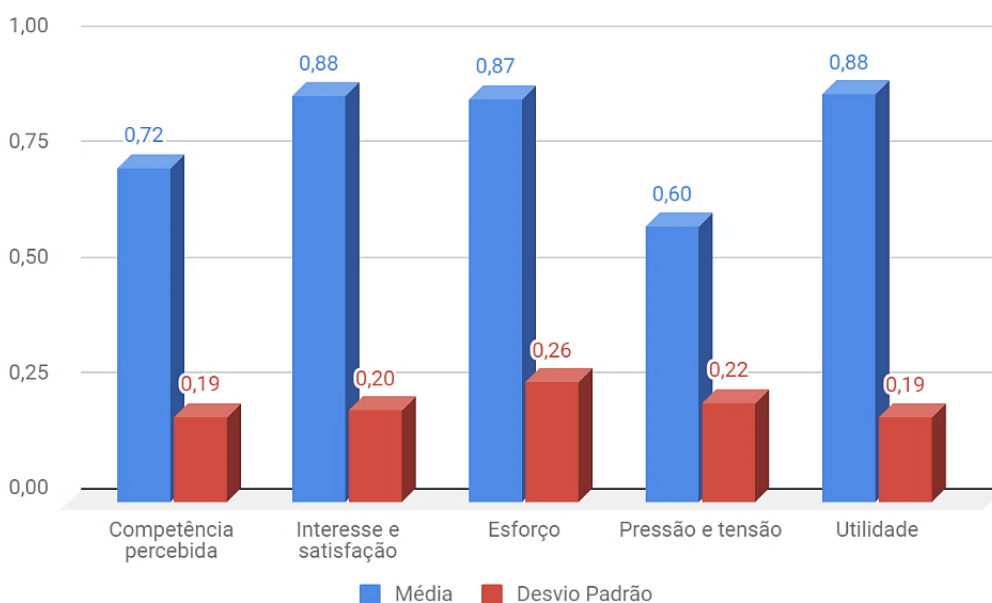
No final do processo, os estudantes responderam um questionário para avaliar a atividade, através do inventário de motivação intrínseca IMI - *Intrinsic Motivation Inventory* (MCAULEY, DUNCAN, *et al.*, 1989). Foi utilizado uma versão reduzida do IMI, com as questões adaptadas para a atividade com o editor, cujas questões estão descritas no apêndice C e respostas baseadas na escala Likert com 7 opções variando de “discordo plenamente” (1) até

“concordo plenamente” (7). O questionário IMI permite analisar as questões agrupando de acordo com os aspectos: competência percebida (Q4, Q8, Q9 e Q10), interesse e satisfação (Q1, Q3, Q5, Q7, Q11, Q12, Q13, Q14, Q15, Q16, Q17 e Q18), esforço (Q21), pressão e tensão (Q2, Q6 e Q19) e utilidade (Q20).

### 6.3.1 Atividade com o KitVision

Os resultados do questionário IMI dos 17 estudantes que participaram da atividade usando o KitVision e que responderam ao questionário no primeiro semestre de 2018, indicam que o interesse e satisfação (0.88), o esforço empreendido (0.87) e a utilidade desse tipo de atividade e da mesa tangível (0.88) foram bem positivos, do mesmo modo que a competência percebida durante a execução da tarefa também foi positiva (0.72). A pressão e tensão durante a execução da atividade apresentou um resultado no limite do aceitável (0.60), visto que valores aceitáveis precisam ser acima de 0.6. A figura 55 apresenta o resultado do questionário IMI da atividade que utilizou o editor KitVision, com a média e desvio padrão agrupados de acordo com os aspectos analisados. Todos os estudantes conseguiram implementar a atividade planejada utilizando o KitVision e, apesar de enfrentarem alguns problemas de usabilidade, ficaram satisfeitos com a proposta de desenvolver atividades inclusivas para uma mesa tangível.

Figura 55 – Avaliação da atividade de criação de aplicações - KitVision 2018-1



n = 17

Fonte: do autor

Além do questionário IMI, em 2018-1 foram feitas outras 5 perguntas abertas (apêndice C). A questão sobre para que fazer atividades com a mesa tangível pode ser útil (Q22), as respostas foram todas relacionadas ao fato de que a mesa pode ser usada em sala de aula para auxiliar os professores na tarefa de educar a todos, crianças e adultos, diversificando os métodos de ensino, de um modo mais lúdico. Quanto à questão sobre o que foi mais difícil no desenvolvimento da atividade (Q23), as principais respostas são relacionadas ao uso do editor, a aprender lidar com ele, a programação, a dificuldade específica de construir o jogo proposto, a definição do roteiro, mas principalmente às falhas, erros e problemas do editor. Em relação à questão sobre o que foi mais fácil no desenvolvimento da atividade (Q24), as principais respostas foram relacionadas a pensar e planejar a atividade e o roteiro, no desenvolvimento e produção das imagens, entender a proposta e confeccionar os objetos tangíveis. Quanto à questão sobre o que sentiram de falta no desenvolvimento da atividade (Q25), se destacaram: ter mais tempo e poder explorar mais estes momentos, visualizar como usar a mesa em outros ambientes, mais opções no editor, o editor funcionar direito, um manual e tutorial que auxilie no editor, um editor mais robusto onde pudesse colocar animações. Quanto aos comentários, os que se destacam são que a atividade é “muito legal de ser feita, fiquei triste em função de algumas limitações do KitVision, não tenho dúvida de que com algumas mudanças a experiência de construir histórias com o KitVision e o Canvas será muito prazerosa”; “a atividade é muito legal e muito criativa, penso que poderia ser usada para ensinar química também pois as aulas nas escolas acabam sendo muito chatas e desenvolvendo jogos seria mais interativo e estimulante”; “O editor poderia funcionar direito”; “a atividade me estimulou a refazer e ressignificar caminhos para organização lógica de minhas atividades pedagógicas”.

### **6.3.2 Atividade com o Eduba Editor**

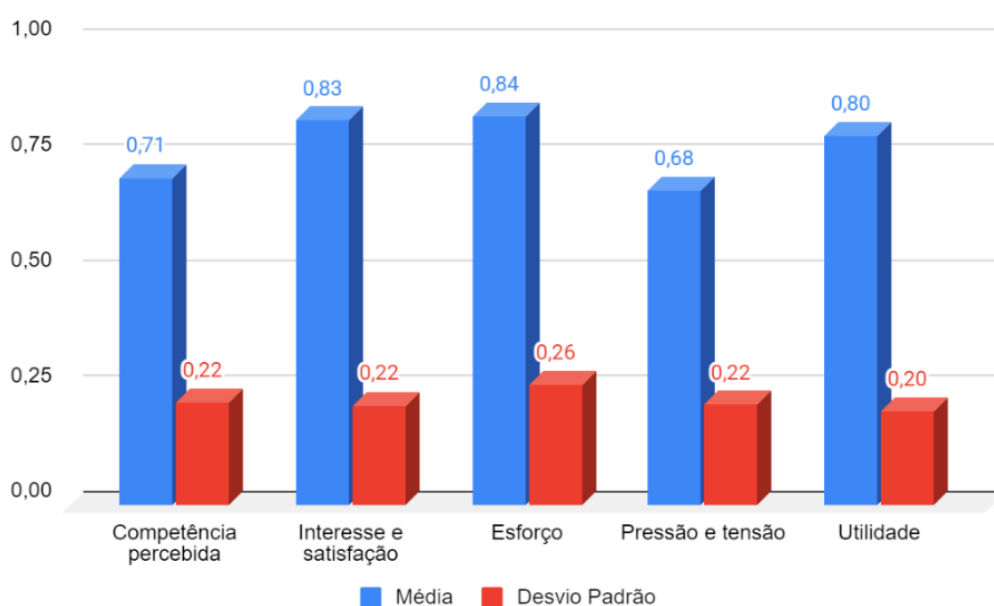
Do segundo semestre de 2018 até o segundo semestre de 2020, o Eduba Editor passou a ser utilizado nas atividades de produção de aplicações para a mesa tangível nas disciplinas de graduação e pós-graduação em disciplinas de educação inclusiva e formação de professores para uso de novas tecnologias. Os estudantes que participaram e responderam ao questionário tinham uma média de idade de 27 anos, com desvio padrão de 8, dos quais, 93% não conheciam mesas tangíveis. Em relação ao uso de ferramentas gráficas e editores de imagem, 27% não tinham experiência, 33% tinham alguma experiência e 40% utilizam e tem experiência.

Os resultados do questionário IMI dos 59 estudantes que participaram da atividade usando o Eduba Editor e que responderam ao questionário, indicam que o interesse e satisfação



(0.83), o esforço empreendido (0.84) e a utilidade desse tipo de atividade e da mesa tangível (0.80) foram bem positivos, do mesmo modo que a competência percebida durante a execução da tarefa também foi positiva (0.71). A pressão e tensão durante a execução da atividade também apresentou um resultado aceitável (0.68), apesar de indicar que este é o fator mais que merece atenção. A figura 56 apresenta o resultado do questionário IMI da atividade que o Eduba Editor foi utilizado, de 2018 a 2020, com a média e desvio padrão agrupados de acordo com os aspectos analisados.

Figura 56 – Avaliação da atividade de criação de aplicações - Eduba 2018-2 a 2020-2



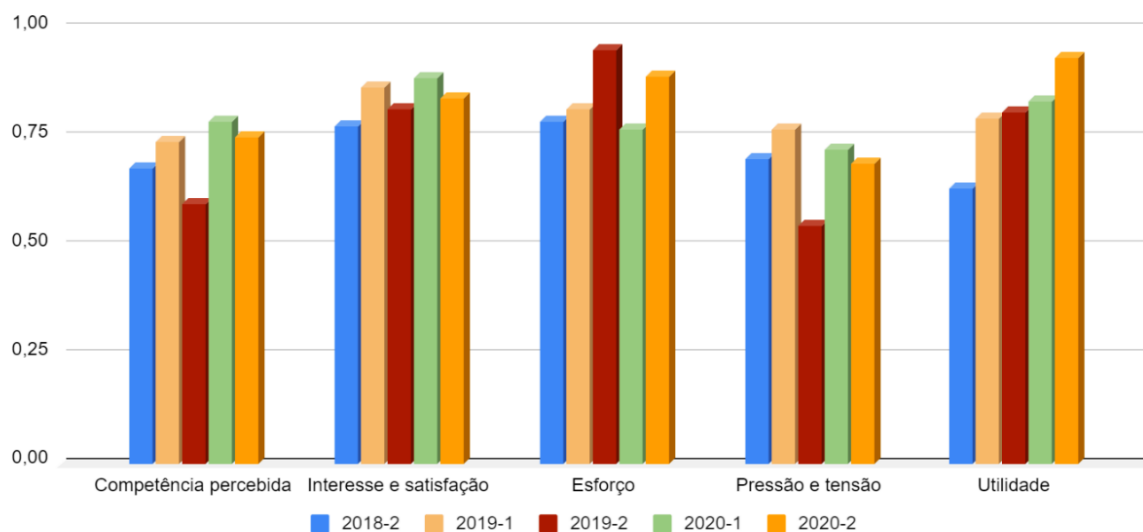
n = 59

Fonte: do autor

Para uma melhor comparação com a análise da turma que utilizou o KitVision durante um único semestre, o gráfico da figura 57 apresenta a análise da avaliação da motivação intrínseca na criação de aplicações usando o Eduba Editor, de 2018-2 a 2020-2, agrupado de acordo com o aspecto analisado (competência, interesse e satisfação, esforço, pressão e tensão e utilidade), mas detalhando o resultado de acordo com o semestre. Nele é possível observar que em 2019-2 o esforço empreendido na atividade foi maior e conseqüentemente a competência percebida foi menor, do mesmo modo que a pressão e tensão foi maior, refletindo na avaliação negativa deste aspecto. No gráfico também é possível perceber a melhora constante a cada semestre na percepção da utilidade deste tipo de atividade no ambiente educacional e na vida profissional dos envolvidos, provavelmente pela melhora na usabilidade do Eduba Editor

e pela disponibilização de uma versão online e de execução simulada em computadores e dispositivos móveis, sem a necessidade de uma mesa tangível.

Figura 57 – Avaliação da motivação intrínseca na criação de aplicações - Eduba



n = 59

Fonte: do autor

Além do questionário IMI, de 2018-2 a 2020-2 também foram feitas outras 5 perguntas abertas (apêndice C). A questão sobre para que fazer atividades com a mesa tangível pode ser útil (Q22), as respostas que merecem destaque foram relacionadas a aplicar em setores educacionais de museus e outras instituições de viés cultural, contar histórias para crianças que tem dificuldade em manter a atenção, integrar a turma, criar atividades lúdicas, socializar com estudantes com e sem deficiência. Quanto à questão sobre o que foi mais difícil no desenvolvimento da atividade (Q23), as principais respostas são o tempo curto para realizar a atividade, adaptar a ideia às funções que a mesa tangível permite, pensar na atividade em si e adaptá-la para a mesa, pensar numa atividade que fosse compreensível para uma criança, fazer o planejamento, pensar uma atividade para deficientes visuais, entender como inserir os fiduciais no contexto da história contada, fazer o design gráfico do jogo, entender o conceito da mesa no início das conversas e visualizar uma proposta sem ter muito conhecimento do programa. Em relação à questão sobre o que foi mais fácil no desenvolvimento da atividade (Q24), as principais respostas foram relacionadas a planejar, escolher e editar as imagens e montar a aplicação. Quanto à questão sobre o que sentiram de falta no desenvolvimento da atividade (Q25), se destacaram: documentação do editor nos primeiros usos com os protótipos iniciais, banco de imagens e sons, um botão para voltar e desfazer a ação, “mais exemplos no

Google e no YouTube, pois quando pesquisei não achei muita coisa”, biblioteca interna de imagens e sons ou integração com biblioteca externa.

Quanto aos comentários, os que se destacam são: “Achei muito divertido criar a atividade e me sinto incentivada a ensinar outras pessoas a utilizar o editor. Gostaria de ter acesso a ele quando for professora em atividade!”, “Essa atividade me despertou o interesse em desenvolver meu TCC na área da educação especial, pois o fato de eu ter tido dificuldade em encontrar uma temática para trabalhar e não encontrar nenhuma publicação sobre isso, me fez refletir do quão pouco inclusivo é a química na educação. Obrigada pela oportunidade!”, “Foi enriquecedor desenvolver a aplicação para mesa tangível”, “Eu adorei de verdade e pretendo utilizar a plataforma mais vezes”, “nunca tive contato com esta ferramenta e achei muito interessante, muito mesmo. Chego a imaginar a oferta nas escolas, como seria enriquecedor para professoras e alunos”, “Eu amei conhecer a mesa tangível, tenho feito propaganda aos quatro ventos. Fico super feliz de ter participado e contribuído de alguma forma com esse projeto tão bacana! Desejo muita sorte e vida longa ao projeto!”, “agradeço a oportunidade de conhecer essa ferramenta. Fiquei surpreso com o que eu consegui desenvolver, por mais que eu ainda tenha muito a aprender com esse software”, “achei muito interessante, fez-me aprender a elaborar materiais que futuramente usarei na minha prática docente”.

Todos os estudantes conseguiram implementar as atividades planejadas, criaram a aplicação com o Eduba Editor e ficaram satisfeitos com o seu uso e com a proposta de desenvolver atividades para a mesa tangível e uso em ambientes simulados, como computador e dispositivos móveis.

No segundo semestre de 2018, as atividades de criação de aplicações foram realizadas no Laboratório de Tecnologia Assistiva da UFRGS, que dispõe de uma mesa tangível, usando o primeiro protótipo do Eduba Editor, instalado localmente nos computadores. A figura 58 apresenta algumas aplicações para a mesa tangível desenvolvidas com o uso do Eduba Editor, executadas e apresentadas na mesa tangível. As principais aplicações são descritas na sequência.

Figura 58 – Aplicações desenvolvidas com o Eduba Editor em 2018-2



Fonte: do autor

A aplicação “Caixossauri” (fig. 59) apresenta uma atividade complementar a uma contação de história. Ela explora o personagem e os objetos reais da história numa aplicação na mesa tangível, realizando alguns questionamentos sobre fatos da história, com animações e sons. A imagem do Caixossauri utilizada na aplicação é uma foto do objeto real utilizado para a interação na mesa tangível. Os objetos de interação são o personagem Caixossauri e três cubos com os elementos da história: cabeça, coração e barriga.

Figura 59 – Cenas da aplicação Caixossauro



Fonte: do autor

A aplicação “Atividade Stick” (fig. 60) explora a preparação de uma receita de bolo, com a colocação dos ingredientes solicitados. Os objetos reais são réplicas dos ingredientes utilizados: . Quando os elementos solicitados são colocados na vasilha, novos ingredientes são solicitados.

Figura 60 – Cenas da aplicação Atividade Stick

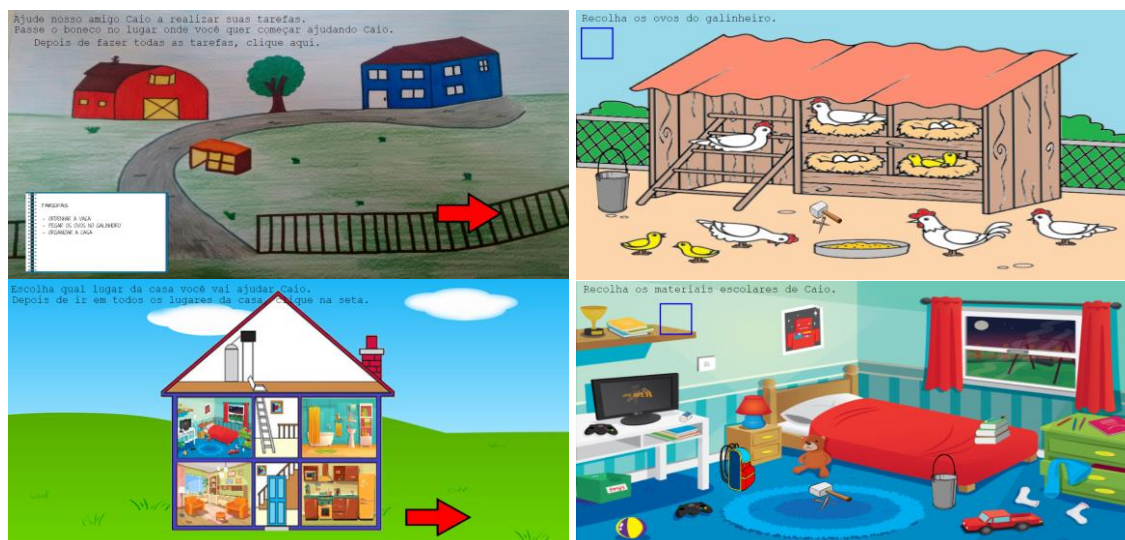


Fonte: do autor

A aplicação “Fazendinha” (fig. 61) explora a interação com o personagem Caio, que deve fazer as tarefas: recolher o leite, recolher os ovos e organizar a casa. Permite que o aluno escolha a atividade que quer fazer, através da colocação do objeto sobre a área do assunto desejado, como se fosse um menu de escolha.



Figura 61 – Cenas da aplicação Fazendinha



Fonte: do autor

A aplicação “Choquito” (fig. 62) apresenta questões ecológicas e a história real de um sapo que está em extinção no Parque de Ipapeva (Torres- RS). A atividade solicita a identificação do habitat do sapinho, apresenta questões sobre a poluição do parque e a separação do lixo, utilizando objetos reais de garrafa pet, lata de refrigerante, garrafa de vidro e papel.

Figura 62 – Cenas da aplicação Choquito



Fonte: do autor

Em 2019, foram criadas as aplicações para a mesa tangível envolvendo desafios com animais e seus nomes, contação de histórias, frações, combinação de cores, uso de números, contagens, cálculos, exploração de texturas e arte, proporcionando atividades para crianças com ou sem deficiência e explorando uso de libras e aplicações para crianças com deficiência visual ou cegueira. A figura 63 apresenta algumas aplicações desenvolvidas em 2019, testadas e apresentadas na mesa tangível do Laboratório de Tecnologia Assistiva da UFRGS.

Figura 63 – Atividades implementadas com o Eduba Editor em 2019



Fonte: do autor

A aplicação “A Floresta de Joãoio” (fig. 64) conta uma história sobre um menino que viajou com a família e descobriu que lá tinha uma floresta, que ele quis conhecer. A aplicação explora a interação dos objetos com as imagens de alguns animais de uma floresta, seus nomes e o som que eles produzem, além da interação com algumas frutas.

Figura 64 – Cenas da aplicação A Floresta de Joãoio



Fonte: do autor

A aplicação “Brincadeiras de Alice” (fig. 65) explora a interação com os objetos e a motricidade fina, solicitando que o se escolha e coloque o peixe adequado sobre a imagem e mova-o em linha reta da esquerda para a direita. Essa aplicação explora a funcionalidade de

mover uma área de interação com o objeto, juntamente com a imagem associada a ela até uma área determinada. Se essa área e imagem que está sendo movida passa sobre uma área incorreta, um feedback é reproduzido e a área com a imagem retorna à posição inicial.

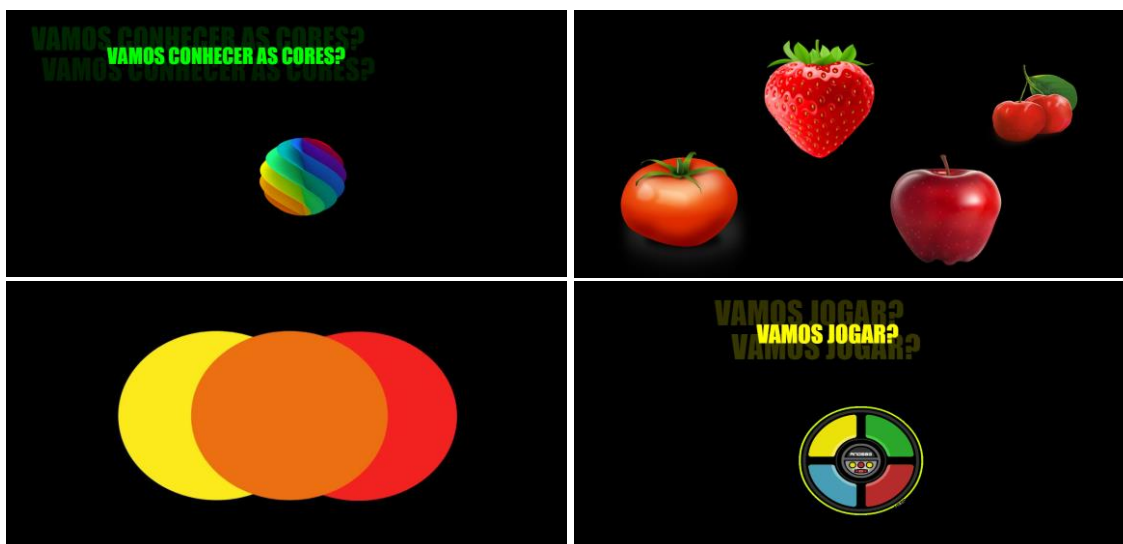
Figura 65 – Cenas da aplicação Brincadeiras de Alice



Fonte: do autor

A aplicação “Colorirei” (fig. 66) explora o reconhecimento e identificação das cores, a obtenção de uma nova cor a partir da mistura de outras duas e apresenta um jogo semelhante ao Genius, onde é solicitado que coloque sobre a mesa uma sequência de cores; a cada acerto, uma nova cor é adicionada ao final da lista exigida.

Figura 66 – Cenas da aplicação Colorirei



Fonte: do autor

A aplicação “Libras em Construção” (fig. 67) explora alguns objetos encontrados em obras, como tijolo, caixa de ferramentas, carrinho de mão e escada e sua respectiva representação em Libras. Por ser destinada a pessoas com surdez, a aplicação não utiliza nenhum som e utiliza vídeos com interpretação de Linguagem Brasileira de Sinais para o



feedback, utilizando animações nas imagens para torná-la ainda mais atrativa. Os objetos de interação são réplicas de tijolo, caixa de ferramentas, carrinho de mão e escada.

Figura 67 – Cenas da aplicação Libras em Construção



Fonte: do autor

A aplicação “Ecobrinca” (fig. 68) explora a tartaruga marinha e a lagartixa da areia e seu habitat, com animações, vídeos explicativos e atividades que envolvem a preservação do meio-ambiente.

Figura 68 – Cenas da aplicação Ecobrinca



Fonte: do autor

A aplicação “Centopeia” (fig. 69) explora a contagem de objetos e a sequência numérica, com a colocação dos números em ordem crescente para formar a centopeia. Utiliza animações das imagens para tornar a aplicação mais atrativa. Os objetos reais são os números de 1 a 5.

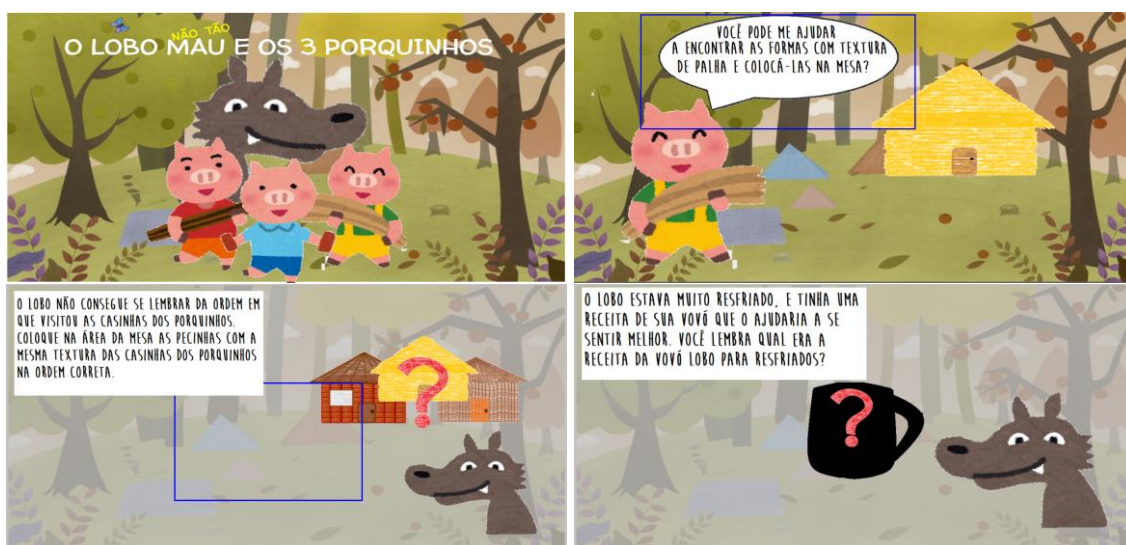
Figura 69 – Cenas da aplicação Centopeia



Fonte: do autor

A aplicação “Lobo Mau” (fig. 70) explora a contação de histórias e a textura dos objetos, exigindo que o aluno identifique e interaja na aplicação com os objetos que tenham a textura de palha, graveto e tijolo. Além do feedback sonoro, utiliza um feedback visual que se sobrepõe à imagem da fala do personagem na cena, com um texto informando o acerto ou o erro. Numa atividade, também utiliza o recurso de “requisitos” do Eduba Editor para exigir a colocação dos objetos (palha, graveto, tijolo) obedecendo a ordem pré-estabelecida. Os objetos de interação são pedaços de palha, graveto e tijolo nos quais é possível perceber a sua textura real, uma caneca de chá, uma réplica de um pacote de açúcar e uma réplica de uma roupa quentinha.

Figura 70 – Cenas da aplicação Lobo Mau



Fonte: do autor

A aplicação “Manhã de Amora” (fig. 71) explora a rotina da personagem Amora, com os hábitos de higiene e de organização, desde o momento de acordar até a ida à escola. Os objetos de interação são imagens ou réplicas de escova de dentes, pasta de dentes, copo de leite, sanduiche, peças do uniforme, calçado, maçã, caderno e garrafa de água.

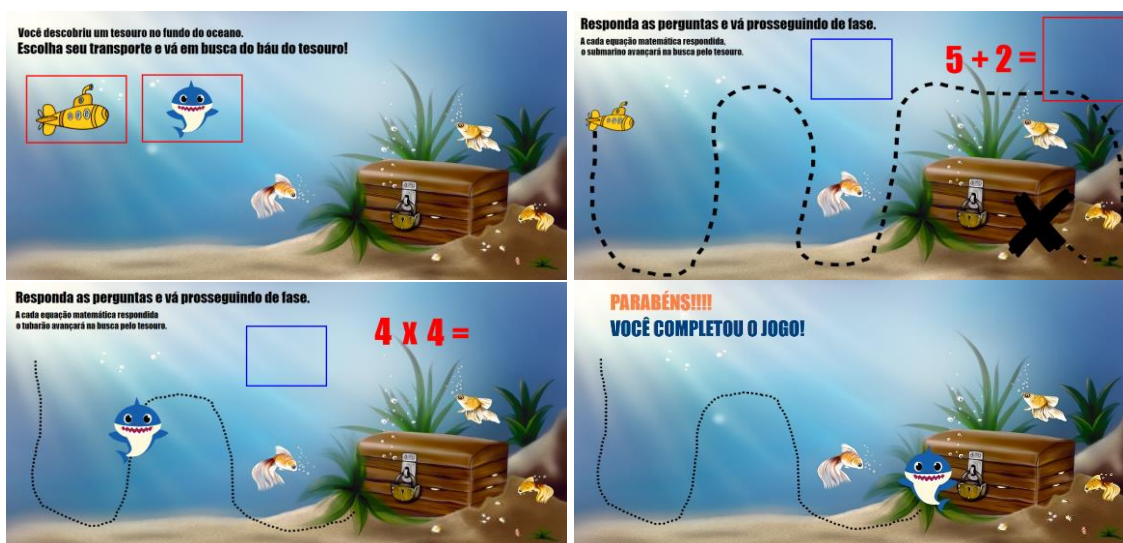
Figura 71 – Cenas da aplicação Manhã de Amora



Fonte: do autor

A aplicação “Busca ao Tesouro” (fig. 72) explora uma aventura em busca ao tesouro, que avança à medida que as questões de matemática são acertadas. Explora o conceito de escolha entre o submarino e o tubarão, que levam à diferentes questões. Utiliza GIFs animados e animações das imagens para tornar a aplicação mais atrativa. Os objetos de interação são o submarino, o tubarão e os números usados nas respostas das equações.

Figura 72 – Cenas da aplicação Busca ao Tesouro

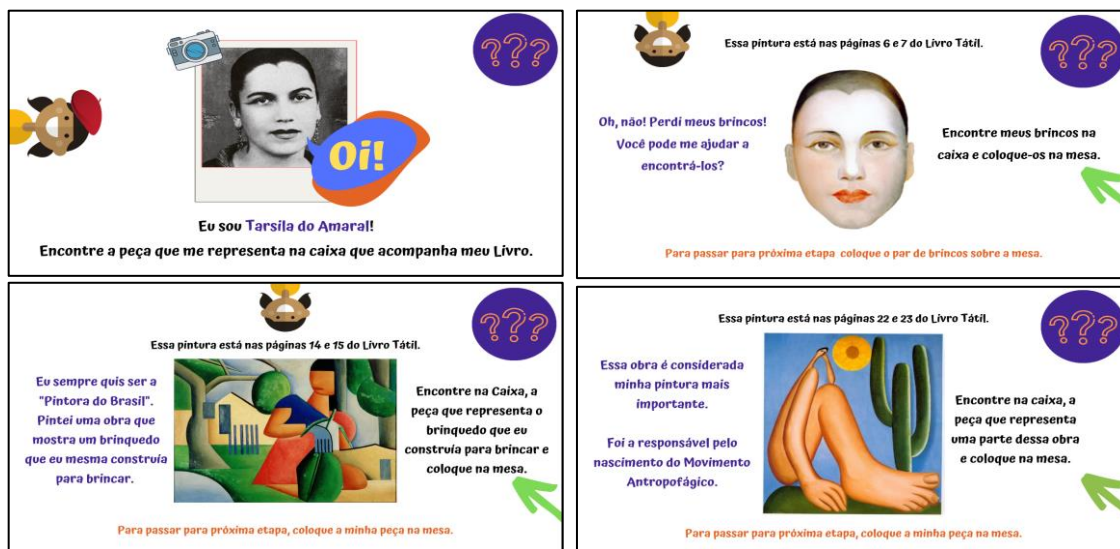


Fonte: do autor



A aplicação “Tarsila” (fig. 73) explora uma aplicação para pessoas com deficiência visual para a mesa tangível, que é complementar a um livro tátil. Utiliza audiodescrição em todas as cenas e explora os objetos táteis, colocados dentro de uma caixa. Os objetos de interação são uma representação da Tarsila (Tarsilinha), um par de brincos, casaco, fazenda, boneca, flor do manacá, mandacaru e touro.

Figura 73 – Cenas da aplicação Tarsila

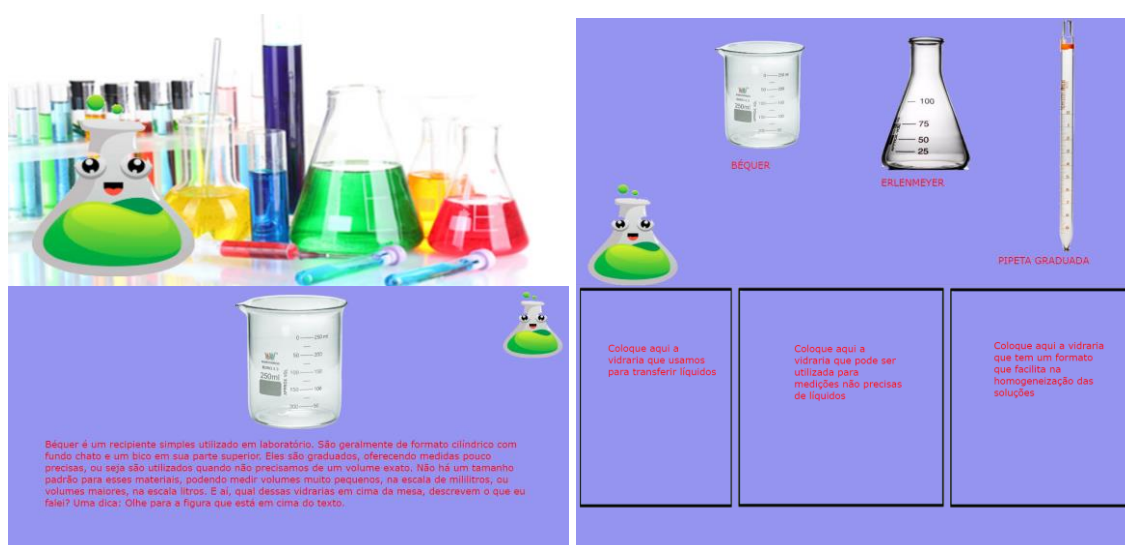


Fonte: do autor

Em 2020, devido ao distanciamento social decorrente da pandemia, as atividades de criação das aplicações foram através da modalidade de ensino remoto utilizando a versão online do Eduba Editor, pois os alunos não tiveram acesso ao laboratório e à mesa tangível. Nos dois semestres, foram criadas diversas aplicações para mesa tangível e a apresentação das mesmas foi através do simulador online. As principais aplicações desenvolvidas são descritas a seguir.

A aplicação “Vidrarias” (fig. 74) é destinada a alunos do ensino médio e apresenta a descrição textual e audiodescrição das principais vidrarias de um laboratório de química: Béquer, Erlenmeyer e pipeta graduada e uma atividade que solicita que cada vidraria seja colocada no local adequado, de acordo com a funcionalidade. Os objetos de interação são imagens ou réplicas das vidrarias: Béquer, Erlenmeyer e pipeta graduada.

Figura 74 – Cenas da aplicação Vidrarias



Fonte: do autor

A aplicação “Frutas” (fig. 75) explora a interação na mesa tangível com quatro frutas, seus nomes e suas cores. Os objetos de interação são as frutas: maçã, pêra, banana e laranja.

Figura 75 – Cenas da aplicação Frutas



Fonte: do autor

A aplicação “Expedição Paleontológica” (fig. 76) apresenta informações sobre paleontologia e a interação se dá com a explicação e uso das ferramentas: escada, lanterna, lupa, martelo, pá, peneira, pincel e capacete. Há explicações sobre regiões onde podem ser encontrados os fósseis. As atividades consistem em colocar algumas ferramentas sobre a mesa, no local adequado para encontrar os fósseis. Recursos de animação e audiodescrição são utilizados na interação. Os objetos de interação são imagens ou réplicas das sete ferramentas.

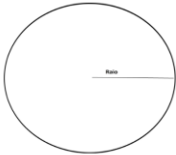


Figura 76 – Cenas da aplicação Expedição Paleontológica



Fonte: do autor

A aplicação “Formas Geométricas” (fig. 77) apresenta informações sobre as formas geométricas: círculo, retângulo e triângulo e suas fórmulas para cálculo de área e perímetro. Apresenta exercícios que exigem a colocação das respectivas formas geométricas sobre a resposta adequada e apresenta um vídeo explicativo sobre a origem do Pi. Os objetos de interação são as três formas geométricas.

Figura 77 – Cenas da aplicação Formas Geométricas

<p>Vamos conhecer melhor o círculo, arraste o círculo sobre os objetos para conhecê-los.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Perímetro</p> <p>Perímetro=2.pi.raio <math>P=2\pi r</math></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Área</p> <p>Área=pi.raio.raio <math>A=\pi r^2</math></p> </div> </div>	<p>Exercícios</p> <p>Coloque as figuras geométricas sobre a fórmula de sua área.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Área=base.altura <math>A=b.h</math></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Área=base.altura/2 <math>A=b.h/2</math></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Área=pi.raio.raio <math>A=\pi r^2</math></p> </div> </div>
<p>Exercícios</p> <p>Qual a área de um retângulo com base 3m e altura 2m?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <span>3m</span> <span>12m</span> <span>6m</span> </div> <p>Qual o perímetro de um triângulo de lados 3m, 4m e 5m?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <span>12m</span> <span>9m</span> <span>7m</span> </div>	<p>Bônus</p> <p>Gostaria de conhecer mais o <math>\pi</math>?</p> <div style="text-align: right;">  </div> <p><b>De Onde Vem? LALALALALA</b></p>

Fonte: do autor

A aplicação “Meu Aniversário” (fig. 78) explora o reconhecimento e identificação das emoções. Na primeira cena é possível escolher o personagem: Joãozinho ou Mariazinha. Nas cenas seguintes, de acordo com o presente esperado e recebido, a expressão de feliz ou triste

deve ser colocada sobre o rosto do personagem. Os objetos de interação são imagens dos personagens: Joãozinho e Mariazinha e imagens de expressão feliz e triste.

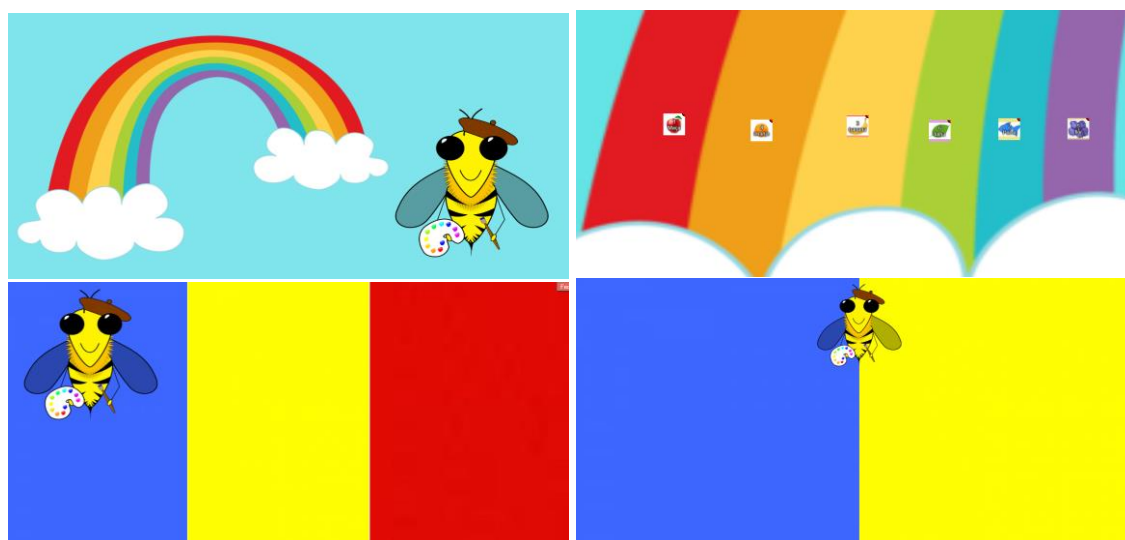
Figura 78 – Cenas da aplicação Meu Aniversário



Fonte: do autor

A aplicação “Abelha Arteira” (fig. 79) explora os objetos e suas cores. Apresenta o conceito de cores primárias e desafia o aluno a descobrir a cor resultante da mistura de duas delas. Os objetos de interação são imagens de: maçã, laranja, banana, folha, peixe, flor.

Figura 79 – Cenas da aplicação Abelha Arteira



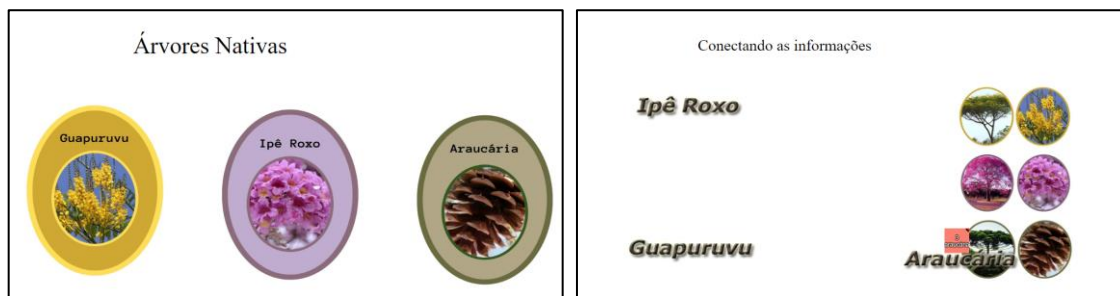
Fonte: do autor

A aplicação “Árvores Nativas” (fig. 80) apresenta as informações sobre as árvores: Guapuruvu, Ipê Roxo e Araucária quando o respectivo objeto característico de cada árvore é colocado sobre a imagem. Ao final, o objeto de cada árvore deve ser usado para conectar,



arrastando o nome da árvore para as suas respectivas imagens. Os objetos de interação são representações com o nome, cor e imagem da flor da árvore Guapuruvu e do Ipê Roxo e a pinha da Araucária.

Figura 80 – Cenas da aplicação Árvores Nativas



Fonte: do autor

A aplicação “Passeio Ecológico” (fig. 81) apresenta informações sobre alguns animais encontrados na Mata Atlântica e a interação ocorre com a identificação e reconhecimento destes animais e algumas questões sobre atitudes em relação a eles.

Figura 81 – Cenas da aplicação Passeio Ecológico



Fonte: do autor

A aplicação “Praticar Esportes” (fig. 82) permite o aprimoramento da motricidade fina, usando um objeto para movimentar o jogador, de acordo com as instruções. O objeto de interação é um boneco, que deve ser colocado sobre o jogador e movimentado em direção ao gol.

Figura 82 – Cenas da aplicação Praticar Esportes



Fonte: do autor



A aplicação “As Vogais” (fig. 83) explora a alfabetização e identificação das vogais associadas às imagens. Ao final, apresenta um vídeo com uma música sobre as vogais e palavras iniciadas com cada uma delas. Os objetos de interação são as letras A, E, I, O e U.

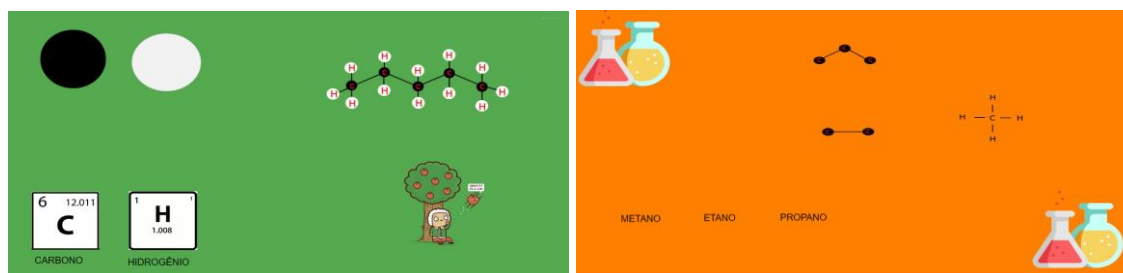
Figura 83 – Cenas da aplicação As Vogais



Fonte: do autor

A aplicação “Elementos Químicos” (fig. 84) apresenta os elementos químicos carbono e hidrogênio e as cadeias carbônicas: metano, etano e propano. As atividades envolvem a identificação e reconhecimento dos elementos e das cadeias. Os objetos de interação são representações dos elementos químicos e as cadeias.

Figura 84 – Cenas da aplicação Elementos Químicos



Fonte: do autor

A aplicação “Conhecendo os Animais Amazônicos” (fig. 85) apresenta alguns animais conhecidos e seus nomes. A atividade consiste em identificar quais animais vivem na Amazônia e quais vivem na savana. Os objetos de interação são imagens ou réplicas dos animais: arara, jacaré, uacari-branco, onça, girafa, elefante, zebra e leão.

Figura 85 – Cenas da aplicação Conhecendo os Animais Amazônicos



Fonte: do autor

A aplicação “Jogo de Frações” (fig. 86) apresenta um vídeo com os conceitos sobre as frações. As atividades sobre frações envolvem a colocação de objetos que representam frações e dos números no numerador e no denominador, relacionados às imagens. Os objetos de interação são imagens que representam frações: cartela com  $3/10$  comprimidos, metade de uma maçã,  $2/3$  de uma garrafa d’água,  $4/6$  de uma pizza, caixa com 7 lápis ( $7/12$ ) e os números de 1 a 8.

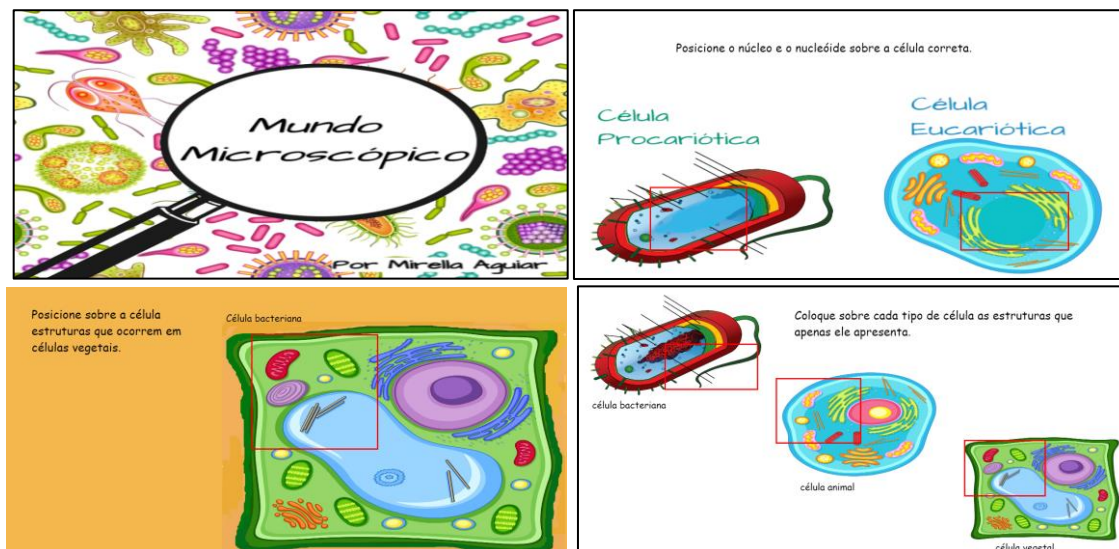
Figura 86 – Cenas da aplicação Jogo de Frações



Fonte: do autor

A aplicação “Mundo Microscópico” (fig. 87) apresenta uma aplicação para alunos do ensino médio sobre as células e sua formação. Utiliza como objetos de interação imagens de partes que compõem as diferentes células.

Figura 87 – Cenas da aplicação Mundo Microscópico



Fonte: do autor

A aplicação “Aves do Brasil” (fig. 88) apresenta uma descrição e o canto de alguns dos pássaros nativos do Brasil: tico-tico, quero-quero, papagaio e tucano. Ao final, apresenta uma atividade para que o aluno identifique quais são os pássaros nativos do Brasil. Utiliza como objetos de interação imagens dos pássaros.

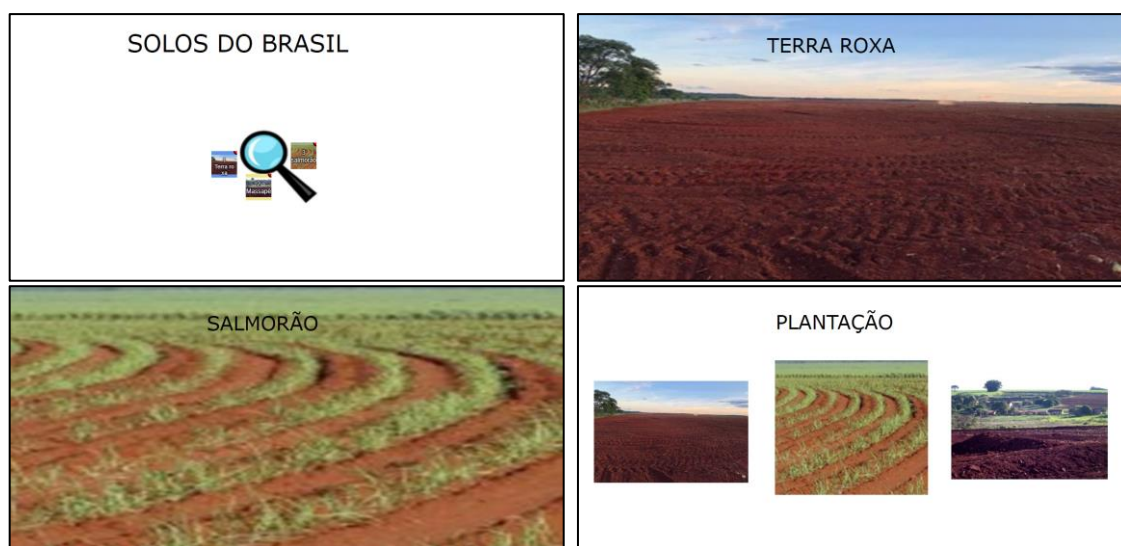
Figura 88 – Cenas da aplicação Aves do Brasil



Fonte: do autor

A aplicação “Solos Brasileiros” (fig. 89) apresenta informações sobre alguns dos tipos de solos brasileiros: terra roxa, massapé e salmorão. Ao colocar o objeto que representa cada um dos tipos de solo, uma explicação sobre o mesmo é apresentada. Na sequência, uma atividade solicita que seja colocado sobre a mesa o principal componente de cada tipo de solo: basalto, calcário e granito e a identificação do solo mais adequado para o cultivo dos alimentos: milho e cana-de-açúcar. Utiliza como objetos de interação imagens dos solos, componentes do solo e culturas.

Figura 89 – Cenas da aplicação Solos Brasileiros



Fonte: do autor

A aplicação “Coronavirus” (fig. 90) apresenta informações sobre o Coronavírus a partir de um vídeo e várias atividades com perguntas sobre a forma de prevenção e com várias dicas como feedback das interações. A cada escolha errada, um feedback com imagens e áudios apresentam dicas e orientações que se sobrepõem às imagens iniciais. Apresenta ainda atividades como palavras cruzadas e contagens de vacinas e máscaras. Os objetos de interação são: imagem do Coronavírus, as letras V, R e C e os números para a contagem.



Figura 90 – Cenas da aplicação Coronavírus



Fonte: do autor

A aplicação “Notas Musicais” (fig. 91) explora o tema música e instrumentos musicais. Apresenta informações sobre os instrumentos musicais: violão, piano, bateria e flauta e os sons produzidos por eles. As atividades exploram o reconhecimento dos sons de cada instrumento. Os objetos de interação são imagens ou réplicas de cada instrumento.

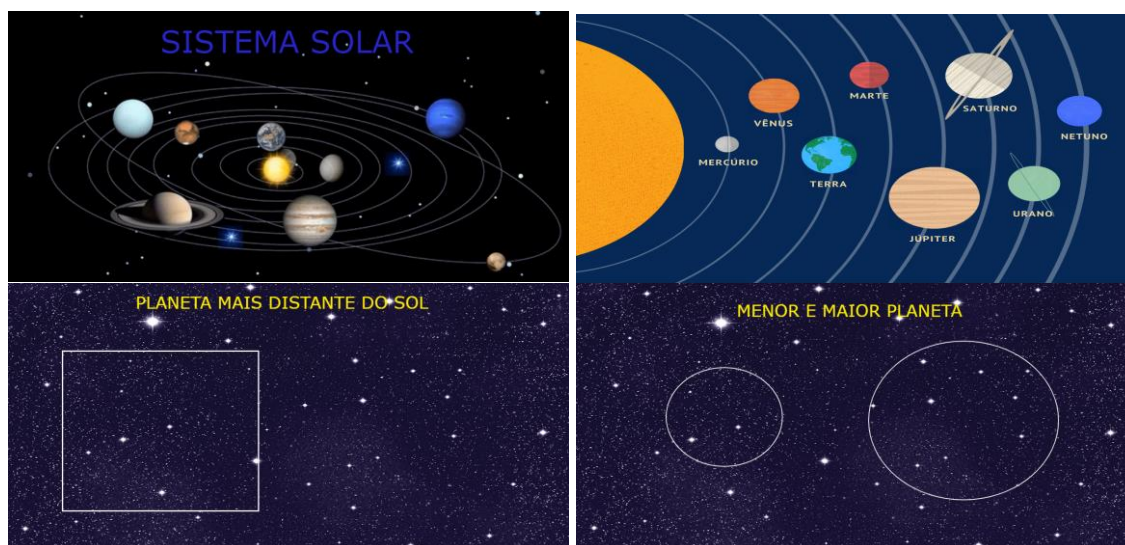
Figura 91 – Cenas da aplicação Notas Musicais



Fonte: do autor

A aplicação “Sistema Solar” (fig. 92) apresenta informações sobre os planetas do Sistema Solar. Os objetos de interação são imagens representativas de cada planeta e seu nome. Quando os objetos de cada planeta são colocados sobre a mesa tangível são fornecidas informações sobre cada um deles. Na sequência são apresentadas atividades que exigem que o planeta adequado seja colocado sobre áreas específicas da mesa, de acordo com as perguntas sobre qual o planeta mais próximo e mais distante do sol, o maior e o menor planeta, dentre outras.

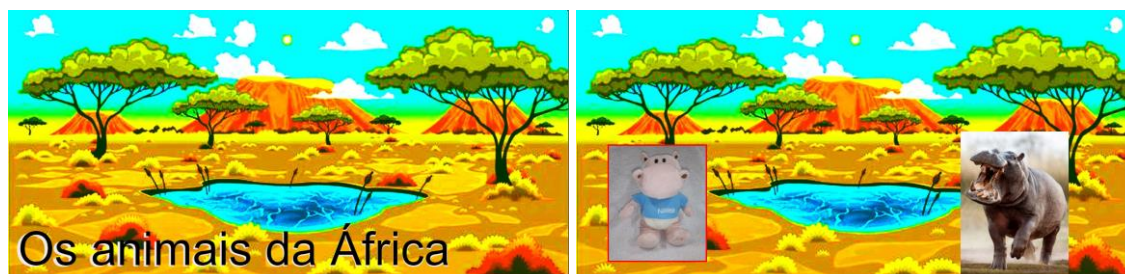
Figura 92 – Cenas da aplicação Sistema Solar



Fonte: do autor

A aplicação “Os animais da África” explora alguns animais da África, apresentando uma música inicial e na sequência desafia o aluno a identificar o animal, de acordo com suas características. Utiliza como objetos de interação réplicas dos animais (bichinhos de pelúcia) e as respectivas fotos para uso no simulador.

Figura 93 – Cenas da aplicação Animais da África



Fonte: do autor

A aplicação “Ambientes Cidade e Natureza” (fig. 94) apresenta elementos do ambiente urbano e da natureza, com os sons de pássaro, onça, rio, carro, britadeira e pessoas. Utiliza GIFs animados para dar movimento às imagens da atividade. Utiliza o recurso de “requisitos” do Eduba Editor para exigir a colocação dos sons de acordo com a ordem definida e utiliza o feedback correto para fazer a nova pergunta. Os objetos de interação são imagens de: onça, pássaro, rio, pessoas, carro e britadeira.

Figura 94 – Cenas da aplicação Ambientes Cidade e Natureza



Fonte: do autor

A aplicação “Orixás do Batuque” (fig. 95) apresenta as informações do Batuque e dos Orixás. Os objetos de interação são cubos com imagens, números, cores e comidas preferidas de cada um dos Orixás: Bará, Ogun, Xangô, Iansã, Ibejis, Odé e Otim, Obá, Ossanha, Xapanã, Oxum, Iemanjá e Oxalá. A aplicação vai apresentando imagens dos orixás e solicitando a colocação dos cubos com suas imagens sobre a mesa. Quando o cubo é colocado, informações adicionais do orixá são apresentadas. As atividades envolvem a identificação dos orixás de acordo com a comida preferida, cor ou números.

Figura 95 – Cenas da aplicação Orixás do Batuque



Fonte: do autor

O fator mais interessante durante o desenvolvimento das atividades pelos estudantes é que alguns sentiram necessidades de alguns recursos específicos durante o planejamento da aplicação e que não estavam disponíveis no Eduba Editor, mas que puderam ser implementados e incluídos numa nova versão do editor, de modo que eles ainda pudessem utilizar para a implementação da aplicação. Os principais recursos incluídos nessa etapa foram a duplicação de cenas, a reorganização de posições das cenas, a configuração de temporização na execução de sons de feedback quando já há um específico para um fiducial, a possibilidade de incluir

animações sucessivas num mesmo objeto numa cena, a configuração de etapas (requisitos) a serem cumpridas, a inclusão de um emulador no próprio editor para testar a aplicação sem necessidade de usar uma mesa tangível, o aprimoramento nas áreas de interação com a possibilidade de definir diferentes formas geométricas para a mesma e agrupá-las como se fossem uma só. A lista de todos os aprimoramentos incluídos no Eduba Editor está no apêndice D.

O Eduba Editor também foi utilizado para criação de aplicações para a mesa tangível para uso com estudantes com necessidades educacionais especiais, como parte das pesquisas do projeto Pitaia e Nidaba e em três outras teses de doutorado: uma no PPGIE/UFRGS, que avaliou a formação de conceitos científicos com mesa tangível (CIMADEVILA, 2021), realizando a pesquisa utilizando a mesa tangível da escola em Canoas; outra que avalia a alfabetização e o letramento de crianças com autismo ou com déficit cognitivo (PPGEDU/UFRGS), que já foi apresentada e aprovada e estava em fase de homologação para publicação no momento do encerramento deste texto, também realizando a pesquisa utilizando a mesa tangível da escola em Canoas e outra no PPGIE/UFRGS, que ainda estava em andamento quando esta tese foi finalizada e que analisa a formação de professores para interações tangíveis (PPGIE), utilizando as mesas tangíveis do Laboratório de Tecnologia Assistiva da UFRGS e das escolas de Canoas e Porto Alegre. Na escola de Porto Alegre, o editor foi utilizado para criação de aplicações para a mesa tangível para criar aplicações para estudantes com deficiência da Escolarização de Jovens e Adultos e em Canoas para estudantes com deficiência do ensino fundamental. A figura 96 apresenta o uso do Eduba Editor com a mesa tangível numa escola participante da pesquisa.

Foram desenvolvidos alguns recursos educacionais para demonstrar as funcionalidades para os educadores das duas escolas com as mesas tangíveis instaladas e foi realizado um acompanhamento do uso da mesa tangível pelos mesmos, visando comprovar a eficácia e a pertinência da mesa tangível para uso na educação inclusiva. Os professores foram convidados a adaptar algumas atividades que atualmente são realizadas de forma convencional, sem o uso de tecnologia, com a criação de aplicações para a mesa tangível. Este trabalho foi iniciado no segundo semestre de 2019, com o devido suporte e assessoramento no planejamento da atividade e no uso do editor, mas foi interrompido em março de 2020 devido à paralisação das atividades presenciais nas escolas ocasionada pela pandemia. Até a conclusão deste trabalho as atividades ainda não tinham sido retomadas e os resultados desta atividade não puderam ser



incluídos nesta tese, mas serão concluídas como parte das pesquisas dos projetos PITAIA e NIDABA nas escolas e seus resultados serão publicados posteriormente.

Figura 96 – Uso do Eduba Editor com a mesa tangível na sala de AEE



Fonte: do autor

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para uso de mesas tangíveis na educação inclusiva são necessários três elementos: uma mesa tangível com um custo acessível, uma ferramenta de autoria que permita que o próprio educador possa criar suas aplicações, além de compartilhar e usar aplicações de outros usuários e um processo de formação de professores para uso de tecnologias tangíveis e para produção de material digital, com edição de imagens, áudio e vídeo. Neste contexto, esta tese apresenta uma especificação para a construção e montagem de uma mesa tangível, o desenvolvimento de uma plataforma com uma ferramenta de autoria e disponibiliza um material que serve de apoio à formação de professores.

Como há pouquíssimas opções de mesas tangíveis comerciais e com custos bem acima de R\$ 60.000,00 (US\$ 10.000 a US\$ 12.000 nos EUA) e como não há publicações com especificações para produção de mesas tangíveis de baixo custo, a publicação de uma especificação para construção e montagem de mesas tangíveis baseada em visão computacional e em materiais facilmente encontrados em lojas especializadas é fundamental para viabilizar seu uso no ambiente escolar e cumpre com o objetivo específico de definir uma especificação de baixo custo para sua construção e uso na educação inclusiva.

A criação da plataforma Nidaba torna possível o uso de mesas tangíveis para educadores, mesmo que não tenham domínio de lógica de programação e cumpre com o objetivo geral de construir uma plataforma digital para produção de recursos educacionais baseados em mesa tangível que atendam às necessidades dos educadores na educação inclusiva e os objetivos específicos de desenvolvimento de um editor para criação de recursos educacionais para a mesa tangível, que seja intuitivo e de fácil utilização por educadores que não dominam lógica de programação e de um *player* para utilizar e executar os recursos educacionais em mesas tangíveis e que permite a simulação em computadores, tablets e smartphones.

A Plataforma Nidaba, baseada numa mesa tangível com o uso da ferramenta de autoria Eduba Editor, reúne numa única proposta várias características consideradas importantes nos trabalhos relacionados e outras inovadoras neste cenário, dentre as quais se destacam a facilidade para criação de aplicações para mesa tangível, a possibilidade de interação com dispositivos robóticos, fantoches eletrônicos e realidade virtual e a execução simulada em dispositivos móveis e computadores para uso na educação inclusiva. Além disso, a plataforma apresenta escalabilidade, podendo ser utilizada com um único computador com ou sem uma

mesa tangível, mesmo que não tenha acesso à Internet, até soluções com vários computadores ou dispositivos móveis acessando a aplicação online e de modo simulado, numa rede local ou Internet, com ou sem mesas tangíveis. Permite a criação das aplicações utilizando computador ou notebook, executando uma versão instalada localmente ou na versão online da plataforma através de computador ou dispositivo móvel, possibilitando ainda o compartilhamento das aplicações.

A adaptação da pesquisa em função do isolamento social resultou na incorporação de várias funcionalidades no Eduba Editor e na criação de um emulador para simular a execução das aplicações em computadores e dispositivos móveis. Isso ampliou a utilidade e as funcionalidades da plataforma, tornando-a adequada também para a produção de material educacional digital para uso no ensino remoto, sem a necessidade de uma mesa tangível.

Para cumprir com o objetivo de propor estratégias educacionais para uso da mesa tangível de baixo custo na educação inclusiva, o capítulo 7.4 descreve as diversas possibilidades para a criação de aplicações para pessoas com ou sem deficiência, as principais estratégias, o planejamento das aplicações, os aspectos envolvendo a edição dos recursos multimídia e o roteiro de criação de aplicações com o Eduba Editor. A descrição das possibilidades para a criação de aplicações para pessoas com ou sem deficiência baseiam-se nos princípios de design universal ou design para todos (capítulo 2.3) e contemplam boa parte das necessidades educacionais especiais de estudantes com deficiência intelectual, auditiva, visual e com TEA (capítulo 2.2.2). Além disso, a criação e disponibilização no site do projeto (“Eduba Editor”, 2020) do manual de uso do software, tutoriais, videoaulas e dicas sobre mesas tangíveis, planejamento, edição de imagens, áudio e vídeo e uso do Eduba Editor fornecem os elementos necessários e auxilia no processo de formação e capacitação de professores para uso deste tipo de tecnologia e auxilia em tarefas técnicas para produção de material educacional digital.

Esta pesquisa já proporcionou a publicação de seus resultados parciais envolvendo o ambiente virtual tangível para integração sensorial no ensino de ciências numa perspectiva inclusiva (GLUZ *et al.*, 2018), o Eduba Editor (PREUSS *et al.*, 2019), a formação de professores para a interação tangível (CIMADEVILA *et al.*, 2019), o uso da mesa tangível na educação inclusiva (PREUSS *et al.*, 2020) e o uso de técnicas de inteligência artificial num sistema de mesa tangível (PREUSS *et al.*, 2020).

A seguir são apresentadas as discussões sobre as tecnologias empregadas no desenvolvimento da plataforma, sua integração com os fantoches eletrônicos, robôs educacionais e ambientes de realidade virtual, as comparações com outros trabalhos, as

discussões sobre a usabilidade e utilidade do editor e da plataforma, a proposta de estratégias educacionais utilizando esta plataforma e finaliza com as limitações e trabalhos futuros.

## 7.1 DESENVOLVIMENTO E TECNOLOGIAS EMPREGADAS

As escolhas e definições das tecnologias para a mesa tangível e a plataforma desenvolvida envolveram os equipamentos e técnicas de captura de imagem e iluminação, o software de rastreamento dos marcadores fiduciais e a tecnologia a ser empregada no desenvolvimento da plataforma, envolvendo o editor, o player e as bibliotecas de comunicação. Para definir os requisitos e funcionalidades da plataforma, foi realizada uma pesquisa bibliográfica (Apêndice A) sobre mesas tangíveis e tecnologias envolvidas, analisando os tipos de mesas tangíveis utilizadas (comercial ou desenvolvida), a tecnologia empregada, no caso de desenvolvimento da própria mesa, as ferramentas e frameworks utilizados e os experimentos realizados. Posteriormente, as funcionalidades foram revisadas e ampliadas, à medida que as demandas surgiam com o uso dos protótipos do editor.

A escolha por desenvolver a própria mesa tangível foi para proporcionar uma solução de baixo custo, empregando equipamentos, materiais e técnicas disponíveis em lojas especializadas. Com esta solução é possível montar uma mesa tangível com custos entre R\$ 2.500,00 e R\$ 4.500,00, dependendo do projetor escolhido. Como não há produtos comerciais com custo acessível, visto que a mesa tangível Samsung SUR40 (SAMSUNG ELECTRONICS, 2011), que custava mais de R\$ 50.000,00, não está mais disponível no mercado e as outras soluções, como a mesa tangível MultiTaction (“Touchscreen Object Recognition by MultiTaction”, [S.d.]), que envolvem hardware e software, apresentam custos ainda maiores que os da mesa Samsung SUR40, a opção por montar a própria mesa é a mais viável e adequada.

A escolha pela técnica de iluminação infravermelha difusa (DI) se deu devido ao fato desta tecnologia apresentar melhor desempenho no rastreamento de marcadores fiduciais, como descritos na pesquisa envolvendo o RoboTable (MI, KRZYWINSKI, *et al.*, 2012) e o GAINÉ (BOTTINO, MARTINA, *et al.*, 2015). A escolha por DI, porém, praticamente impediu o uso de toque e multitoque na tela – o que não foi considerado relevante em nossa proposta. Para toque e multitoque, seria necessário utilizar FTIR, uma fita de leds de infravermelho e tampo de acrílico de 8 ou 10mm, o que elevaria consideravelmente o custo da mesa tangível e até poderia colocar o uso dos objetos tangíveis em segundo plano, o que é contrário à nossa proposta.

A escolha de uma câmera infravermelha HD USB com lente 28mm se deu pelo fato de ela já possui os componentes necessários para uma captura de imagem IR. A câmera utilizada possui sensor 1/2.7", resolução HD, 30fps. A lente 28mm é para que a imagem do tampo da seja totalmente captada pela câmera, mesmo que apresente uma pequena distorção “olho-de-peixe”. Como a câmera deve ser posicionada abaixo do tampo da mesa, a distância máxima da câmera até o tampo é de aproximadamente 70cm e nessa distância, uma lente convencional de 35mm não capta toda a imagem do tampo (77cm x 45cm). Alternativamente, pode ser colocada uma lente varifocal 2.8-8mm ou 2.8-12mm, que permite um melhor ajuste de zoom e foco que a lente 2.8mm. O suporte m12 é para facilitar a remoção da lente para a colocação do filtro passa-alta IR entre a lente e o sensor, pois esse suporte possui rosca. Não é necessária uma câmera Full HD pois o processamento do rastreamento dos marcadores fiduciais utilizando imagem em alta definição apresentam um considerável retardo, sendo desaconselhado o seu uso, mas nada impede o emprego de uma câmera Full HD com 60 ou 120fps, pois a captura da imagem é configurável no software de rastreamento dos marcadores fiduciais dos objetos.

O reactIVision (KALTENBRUNNER, 2009) foi escolhido por permitir o rastreamento de marcadores fiduciais de modo confiável em ambientes 32 e 64 bits no Windows e no Linux, sendo possível inclusive seu uso em miniPCs e Raspberry Pi. A comunicação entre a aplicação e o reactIVision foi através do protocolo TUIO. Além de oferecer essas funcionalidades, essa tecnologia é usada em diversos trabalhos, dentre os quais se destacam Tanenbaum e Antle (2008), Falcão e Price (2011), Oppl e Stary (2014), Maquil *et al.* (2015), Bottino *et al.* (2015), Baldassarri *et al.* (2016), Bonillo *et al.* (2016), Robinson *et al.* (2010), Pedersen e Hornbæk (2011), Bartindale *et al.* (2012), Schneider *et al.* (2012) e Gallardo *et al.* (2013), o que demonstra ser adequada. O BullsEye chegou a ser testado, pois é robusto e confiável, porém exige um maior poder de processamento para o rastreamento, o que impede o seu uso em miniPCs e Raspberry Pi. O CCV e o TrackMate, apesar de permitirem o rastreamento de objetos, são mais adequados e empregados em aplicações baseadas em toque e multitoque e para reconhecimento de imagens. Quanto ao EventTable (ANTLE, MOTAMEDI, *et al.*, 2009), optamos por não usar a abordagem orientada a eventos que ele oferece, preferindo usar diretamente o reactIVision.

Optamos por implementar o framework de forma nativa ao invés de utilizar a estrutura de classes de um framework ou da API ROSS (TARUN, ARIF, *et al.*, 2015), por exemplo. Para proporcionar mais autonomia e flexibilidade nas definições dos nossos protocolos de comunicação e termos uma solução baseada em software livre com o mínimo de dependências

de softwares e frameworks de terceiros, foi utilizado HTML5, CSS, JavaScript e PHP para implementar o editor e os webservices e linguagem C para implementar a interação da mesa tangível com TUIO/reactIVision e com o ambiente de realidade virtual. A principal vantagem de utilizar tecnologia web para a implementação é que ela propicia o seu uso em computadores (Windows, Linux e macOS), dispositivos móveis (Android e iOS) e em Raspberry Pi.

O desenvolvimento da plataforma iniciou com a implementação do Eduba Editor, baseado em métodos ágeis, envolvendo processo incremental, com entregas rápidas e frequentes e com feedback constante. Foi baseado no método *Feature Driven Development - FDD* (RETAMAL, 2014), contando com a colaboração dos interessados no produto e participantes na pesquisa, envolvendo a fase de inicialização e a fase iterativa de construção.

A fase de inicialização permitiu conceber o produto a ser construído, numa visão inicial de sua estrutura e suas funcionalidades. Essa fase durou 3 meses (julho a setembro de 2018) e foi composto pelos processos: o desenvolvimento de um modelo abrangente, a partir dos requisitos do sistema; a construção da lista de funcionalidades e o planejamento por funcionalidades. A fase iterativa de construção teve a meta de entregar incrementos do produto de forma frequente e funcional, com qualidade para serem utilizados pelo interessado no produto. Essas iterações foram semanais, durante o uso do editor e a cada um ou dois meses, quando não havia nenhum grupo usando e testando o produto e ocorreram de outubro de 2018 a maio de 2021. Esse processo envolveu o detalhamento por funcionalidades e a construção por funcionalidades, onde cada funcionalidade foi estudada, detalhada, modelada e implementada para disponibilizar uma nova versão do produto. Ao ser disponibilizada, cada funcionalidade foi analisada e refeita ou readequada, se necessário. As funcionalidades incluídas no Eduba Editor estão descritas no Apêndice D.

Uma demanda inicial era incorporar no próprio editor funcionalidades para edição de imagens e de áudios, porém optamos em não incluir isso no editor para não aumentar a sua complexidade, gerando um trabalho que necessitaria de um grande esforço e tempo e, ainda assim, não seria possível incluir todos os recursos que os editores já existentes apresentam. Além de desviar o foco de nossa proposta, provavelmente a maioria dos usuários optaria em usar os editores que já estão familiarizados. Desta forma, optamos por criar um material de apoio para o uso de ferramentas de edição de áudio e imagens, tanto para uso em computadores como para dispositivos móveis e esta tarefa deve ser realizada antes do uso do Eduba Editor, com os editores que os usuários tiverem mais afinidade.

No início de 2020, com a suspensão das atividades presenciais, surgiu a demanda por utilizar essa plataforma para a formação de professores para novas tecnologias na modalidade de ensino remoto. Como toda a implementação é baseada em tecnologia web, foi possível portar todas as funcionalidades para uso em dispositivos móveis e desenvolvido um emulador para acessar as aplicações de modo simulado em computadores e dispositivos móveis, mesmo sem mesa tangível. Isto permitiu ampliar a abrangência desta plataforma, ao proporcionar a criação e uso de aplicações interativas, mesmo que não tenha uma mesa tangível disponível.

Há ainda a possibilidade de utilizar um Raspberry Pi na mesa tangível, ao invés de um notebook ou computador, reduzindo os custos, se for considerado que o notebook ou computador ficariam instalados dedicados para a mesa tangível. Nos testes realizados, o Raspberry Pi 3 (quad-core Broadcom Cortex-A53 @1,2 GHz, 1 GB RAM DDR2) apresentou um desempenho abaixo do esperado no que se refere ao rastreamento dos marcadores fiduciais e à interação com os objetos reais, com um retardo de 1 a 3 segundos, que compromete a interação, não sendo recomendado o seu uso com a mesa tangível. O Raspberry Pi 4 (quad-core Broadcom Cortex-A72 @1,5 GHz, 4 GB RAM DDR4), apresenta um desempenho consideravelmente superior ao seu antecessor e desempenha satisfatoriamente essa demanda. Os testes com o Raspberry Pi 4 foram realizados com o Linux Manjaro ARM XFCE 21.07 (64bits), apresentando tempo de carregamento do sistema operacional de 20 segundos, tempo de carregamento do Eduba Player de 10 segundos, uso de CPU pelo reactIVision variando de 19 a 22% (30 fps) e uso de memória sempre abaixo de 3GB e sem nenhum retardo nas interações com os programas e com os objetos na mesa tangível. Estes resultados indicam que o Raspberry Pi 4 com 4GB RAM é adequado para uso com a mesa tangível.

## 7.2 COMPARAÇÃO COM TRABALHOS RELACIONADOS

Em relação às estratégias de interações tangíveis descritas por Eisenberg (2003), a plataforma desenvolvida permite explorar e usar uma grande variedade de materiais com vários níveis de adaptabilidade, expressividade, interesse educacional e integração com técnicas computacionais. A possibilidade de utilizar objetos reais, réplicas, brinquedos, impressões 3D ou impressões de imagens para uso com a mesa tangível garante a expressividade e agrega um alto grau de significado na interação e na associação e relação do objeto com a atividade. Poder colocar o objeto sobre a mesa, girar, mover e a aplicação instantaneamente reagir a essa

interação fornecendo feedback visual e sonoro pode fazer com que o interesse educacional seja potencializado.

A plataforma desenvolvida permite que as aplicações criadas auxiliem a performance e facilitem a aprendizagem, de acordo com os itens descritos por Tharp (THARP, 1993; DANIELS, 2003):

- a) **Modelação:** oferece comportamento para imitação, auxiliando ao dar informação para o aprendiz com o auxílio de áudio, imagens, animações, vídeos e objetos que podem ser lembrados, relacionados, que são diretamente utilizados na interação e que também podem servir como um padrão no desenvolvimento das atividades na aprendizagem.
- b) **Feedback:** fornece constantemente informação visual e sonora sobre uma performance, que é comparada com um padrão, de acerto ou erro, adequado ou não, garantindo a autoassistência. O feedback é essencial para auxiliar a performance, possibilitando assim a autocorreção.
- c) **Administração da dependência:** fornece os elementos de aplicação dos princípios de reforço e “punição” ao comportamento, com feedbacks de reforço ou de fornecimento de dicas, exigência de cumprir todas as etapas com a colocação dos objetos nas respectivas áreas, com as quantidades exigidas, com a orientação adequada e com a sequência e ordem exigida.
- d) **Instrução:** a aplicação, em cada cena, solicita uma ação específica através de um áudio e de imagens e animações, ajudando a selecionar a resposta correta, proporcionando clareza e informação e facilitando a tomada de decisão pelo estudante. Ela permite ainda que o estudante possa executar alguns segmentos da tarefa, sem a necessidade de analisar a performance inteira ou fazer julgamentos sobre os elementos a escolher, dividindo a tarefa em cenas e oferecendo dicas e feedbacks segmentados. Pode ainda oferecer conteúdo e instruções através de áudios, imagens e vídeos antes de apresentar os questionamentos e desafios.
- e) **Questionamento:** permite apresentar questões que exigem a colocação ou movimentação de um objeto sobre a resposta adequada. Isso proporciona avaliar se o conceito foi compreendido e pode ser generalizado e aplicado em um contexto semelhante.
- f) **Estrutura cognitiva:** oferece uma estrutura na qual é possível organizar e justificar novas aprendizagens e novas percepções, com a criação de esquemas novos ou



modificados. Proporciona a estruturação da tarefa como amontoar, segregar, sequenciar ou estruturar de algum modo uma tarefa, a partir da colocação dos objetos adequados sobre determinadas áreas da mesa.

A plataforma proposta apresenta uma implementação para uma mesa tangível que implementa um subconjunto proposto na plataforma metaDESK (ULLMER, Brygg, ISHII, 1997), oferecendo suporte à interação física com informações digitais através da manipulação de objetos e incorporando um ambiente de interface para interação mista de espaço físico e digital, proporcionando a tangibilidade do mundo físico para a computação, baseado em visão computacional, câmeras IR e retroprojeção na superfície translúcida da mesa. A mesa tangível proposta é mais simples que a do metaDESK, porém a plataforma propõe uma ferramenta de autoria mais intuitiva e com mais recursos, com foco para uso na educação inclusiva.

Em relação ao instrumento musical eletrônico ReacTable (JORDÀ, KALTENBRUNNER, *et al.*, 2006), a plataforma proposta utiliza praticamente as mesmas técnicas e adapta a mesa tangível para um produto de baixo custo que seja possível de ser construído manualmente, com produtos disponíveis em lojas especializadas e um editor para criar aplicações educacionais inclusivas.

Quanto ao NIKVision (MARCO, BALDASSARRI, *et al.*, 2013) esta proposta não utiliza o monitor como complemento às imagens da mesa tangível. Em relação ao ToyVision (MARCO, CERESO, *et al.*, 2012) a plataforma proposta utiliza técnicas e tecnologias semelhantes, embora não utilize objetos ativos na mesa, mas permite a comunicação e integração de dispositivos eletrônicos e robóticos. Esta proposta propõe a ser uma alternativa ao KitVision (BONILLO, MARCO, *et al.*, 2019), oferecendo uma ferramenta de autoria mais completa, com mais recursos, mais intuitiva e com mais robustez, buscando suprir as deficiências e limitações identificadas, especialmente a maior tolerância a falhas, a possibilidade de uso de animações nas imagens, uso de vídeos em formato mp4, GIFs animados, criação de aplicações não lineares com menus e escolhas, uso de requisitos para exigir ordem na colocação dos objetos na mesa, diferentes níveis de feedback de acordo com os erros, registro do desempenho na execução da aplicação, visualização da execução da aplicação no próprio editor e execução simulada da aplicação em computadores e dispositivos móveis.

A plataforma proposta apresenta uma facilidade de criação de aplicação semelhante ao TIES - *Tangible Interaction in Educational Scenario* (ARTOLA, SANZ, *et al.*, 2015), com a escolha dos elementos a serem configurados em cada cena, porém no Eduba Editor há mais opções e recursos disponíveis, sendo, logicamente, um pouco mais complexo. Além disso, no

Eduba Editor não há modelos a serem seguidos, ficando a cargo do usuário definir os elementos que farão parte de cada cena e da aplicação, oferecendo infinitas possibilidades, mas exigindo um planejamento prévio para garantir a objetividade e coerência da aplicação desenvolvida.

Em relação ao ISAR (HODAIE, HALADJIAN, *et al.*, 2019), a plataforma proposta utiliza algumas ideias semelhantes, porém com técnicas bem diferentes. Enquanto que o ISAR utiliza uma câmera e projetor sobre a mesa rastreando objetos com e sem marcadores fiduciais, a nossa proposta utiliza projetor e câmera embaixo da mesa somente com marcadores fiduciais. ISAR permite utilizar recursos que não estão disponíveis no Eduba, mas o Eduba oferece mais recursos de animação e feedback e registro do desempenho nas atividades, que não estão disponíveis no ISAR. A configuração das propriedades no ISAR é semelhante às IDEs de desenvolvimento de aplicativos para computador, o que a torna menos intuitiva e mais complexa para ser usada, se comparada com o Eduba Editor.

A plataforma proposta utiliza recursos semelhantes aos propostos no RoboTable (MI, KRZYWINSKI, *et al.*, 2012), combinando a interação de mesa tangível com robôs móveis. Enquanto que o RoboTable exige o uso dos próprios robôs e não permite a utilização de outros objetos tangíveis sobre a mesa e a programação das aplicações é baseada em Java, na plataforma proposta podem ser usados individualmente ou em conjunto a mesa tangível com os objetos reais, os robôs educacionais e os fantoches eletrônicos, além de permitir a criação das aplicações com a ferramenta de autoria (Eduba Editor) de modo fácil e intuitivo, sem a necessidade de programação explícita.

A plataforma implementa mecanismos para realizar a avaliação de aprendizagem e armazenar os registros qualitativos e quantitativos que permitem acompanhar o desempenho e o progresso na execução das atividades, com características semelhantes às encontradas no trabalho de (JUNG, KIM, *et al.*, 2013) e como foi sugerido do trabalho de (BONILLO, CERESO, *et al.*, 2016). O módulo de avaliação atualmente apenas calcula o desempenho baseado na quantidade de acertos e erros de acordo com a quantidade de objetos e marcadores fiduciais corretos e incorretos de cada área de interação e no tempo de execução de cada cena, mas outros mecanismos de avaliação podem ser implementados e adicionados no Eduba Editor e no Nidaba *Player* em aprimoramentos futuros da plataforma. Além disso, ele permite armazenar dados de sensores externos, para cada cena, para posterior análise em avaliações e pesquisas.

As principais funcionalidades do editor são relacionadas com outros trabalhos e descritas no quadro 6.

Quadro 6 – Funcionalidades do Eduba Editor e a relação com outros trabalhos

Funcionalidade/característica do Eduba Editor	Relacionado com trabalho
é uma ferramenta de autoria interativa	KitVision <sup>1</sup> , ISAR <sup>2</sup> , TIES <sup>3</sup>
permite inserir cenas	KitVision <sup>1</sup> , ISAR <sup>2</sup> , TIES <sup>3</sup>
em cada cena, pode ser escolhido um fundo personalizado	KitVision <sup>1</sup> , ISAR <sup>2</sup> , TIES <sup>3</sup>
podem ser adicionadas imagens	KitVision <sup>1</sup> , ISAR <sup>2</sup> , TIES <sup>3</sup>
podem ser adicionados vídeos em formato padrão (mp4)	
para cada imagem, pode ser configurada uma animação de zoom, movimento, surgir ou desaparecer	
animações das imagens baseadas em temporização ou eventos	
podem ser inseridos textos	KitVision <sup>1</sup> , ISAR <sup>2</sup> , TIES <sup>3</sup>
podem ser incluídas áreas de interação onde serão colocados os elementos com os marcadores fiduciais sobre a mesa e, para cada fiducial, pode ser configurado um feedback sonoro ou pictográfico;	KitVision <sup>1</sup> , ISAR <sup>2</sup> , TIES <sup>3</sup>
podem ser incluídas áreas de interação de diferentes formas geométricas e agrupamentos	
as áreas podem ser movidas com os objetos na mesa	KitVision <sup>1</sup>
as imagens das áreas podem ser alteradas de acordo com o fiducial colocado sobre a mesma	
pode ser configurada uma área de feedback com sons ou imagens	KitVision <sup>1</sup> , ISAR <sup>2</sup> , TIES <sup>3</sup>
podem ser definidos diferentes feedbacks, de acordo com a quantidade de erros	
permite a definição de requisitos para implementar ordem de colocação dos marcadores fiduciais;	
permite a criação de atividades não lineares, com escolhas e menus	
possui um emulador para testar as aplicações	
permite a edição em dispositivos móveis	
permite a execução de aplicações em mesa tangível	KitVision <sup>1</sup> , ISAR <sup>2</sup> , TIES <sup>3</sup>
possui uma versão online	
possui um simulador que permite a execução das aplicações em computadores e dispositivos móveis	
repositório para compartilhamento de aplicações	
é tolerante a falhas, com salvamento automático	ISAR <sup>2</sup>
interação com robôs educacionais	RoboTable (MI, KRZYWINSKI, <i>et al.</i> , 2012)
interação com fantoches e dispositivos eletrônicos	
interação com ambientes de realidade virtual	
registro da avaliação da aprendizagem com os erros, acertos e tempo de execução para acompanhar o desempenho e o progresso na execução das atividades	(JUNG, KIM, <i>et al.</i> , 2013) e sugerido no trabalho de (BONILLO, CEREZO, BALDASSARRI, <i>et al.</i> , 2016).
registro de dados de sensores externos para cada cena, durante a execução da aplicação	
implementado com tecnologia web (HTML5, CSS, JavaScript)	Tangible mtDNA (MANSHAEI, BAIG, <i>et al.</i> , 2017) e sugerido por (MAQUIL, TOBIAS, <i>et al.</i> , 2017)

<sup>1</sup> KitVision (BONILLO, MARCO, *et al.*, 2019); <sup>2</sup> ISAR (HODAIE, HALADJIAN, *et al.*, 2019);  
<sup>3</sup> TIES (ARTOLA, SANZ, *et al.*, 2015);

Fonte: do autor

### 7.3 USABILIDADE E UTILIDADE

O editor desenvolvido apresenta todas as funcionalidades necessárias para seu uso na educação inclusiva e sua usabilidade foi avaliada como adequada e satisfatória. A indicação na avaliação de que ele apresenta uma certa complexidade para ser usado e que os usuários ainda reportam que há a necessidade de suporte técnico para usá-lo aponta a necessidade de aprimorar e produzir mais material de apoio e ajuda, integrado no editor e em tutoriais, exemplos e vídeos demonstrando as funcionalidades e a forma de uso.

Uma contribuição importante para o desenvolvimento e aprimoramento do Eduba Editor foi a avaliação e correção de cada uma das suas funcionalidades a partir de observações e relatos dos usuários durante o seu uso no desenvolvimento das aplicações, além da inclusão de várias funcionalidades que não tinham sido previstas no início do processo e na especificação de requisitos. Este processo envolveu aproximadamente 100 usuários, durante 5 semestres e as funcionalidades implementadas no editor estão descritas no Apêndice D e foram fundamentais no levantamento das necessidades pedagógicas, questões de acessibilidade e de atividades cognitivas para a interação tangível no contexto inclusivo.

A indicação de que há a necessidade de os usuários terem que aprender muitas coisas para começar a usar o editor está relacionado à necessidade de criar um planejamento para a aplicação, com a definição dos objetivos e roteiro e de atividades técnicas como edição de imagens e áudios, antes de iniciar a criação da aplicação. O fato de que 27% dos participantes das atividades e da pesquisa não usarem e não terem experiência com o uso de editores gráficos é um aspecto que prejudica o bom desempenho e fluência digital no uso do editor.

Assim, o Eduba Editor é adequado e pode ser utilizado por qualquer educador que saiba fazer um roteiro e planejamento de uma aplicação e domine as operações básicas de edição de imagens e áudios. Caso ele não saiba ou não domine estas técnicas, estão disponíveis no site do projeto (“Eduba Editor”, 2020) os materiais de apoio com textos, vídeos, exemplos e dicas para realizar o planejamento, editar as imagens e áudios e criar a aplicação.

A avaliação positiva em todos os itens da atividade de produção de aplicações para mesa tangível, bem como na utilidade deste tipo de tecnologia na educação inclusiva, demonstra que esta proposta é viável e útil e pode ser utilizada como uma ferramenta de tecnologia assistiva para que estudantes com deficiência possam superar as barreiras. Neste cenário, os demais estudantes, sem deficiência, também podem fazer uso dos recursos oferecidos na mesa tangível

ou em ambiente simulado em computadores ou dispositivos móveis, promovendo uma educação inclusiva.

Esta plataforma permite, através da criação de aplicações, realizar atividades pedagógicas mediadas pela mesa tangível, a partir da interação com objetos e fenômenos que envolvem o perceptivo, o representacional e o conceitual. O perceptivo é o nível inicial e fundamental para o processo de formação de conceitos, pois a partir da capacidade de observação dos objetos e fenômenos, as representações visuais, auditivas e táteis-motoras produzidas levam ao nível representacional, proporcionando a formação de conceitos. Essas ações é que darão um sentido para a mesma, através da participação ativa dos agentes e suas tecnologias e seus instrumentos (DAVIDOV, 1988). Apesar de sua concepção sócio-histórica, pelas suas características interacionistas e como um instrumento de mediação tecnológica, ela pode ser utilizada e aplicada em diferentes abordagens, modelos e métodos educacionais, de treinamento, reabilitação e terapia que envolvam interação tangível.

#### 7.4 ESTRATÉGIAS EDUCACIONAIS UTILIZANDO MESA TANGÍVEL

Para atender ao objetivo de propor estratégias educacionais para uso da mesa tangível de baixo custo na educação inclusiva, são propostas algumas estratégias educacionais utilizando mesa tangível. Há diversas possibilidades para a criação de aplicações para pessoas com ou sem deficiência, baseadas no princípio do design para todos ou design universal e que possa também ser usado como uma tecnologia assistiva, garantindo a acessibilidade para estudantes com deficiência física, auditiva, visual, intelectual ou autismo. Para o desenvolvimento de aplicações para estudantes com necessidades educacionais especiais, também é importante observar as recomendações descritas no capítulo 2.2.2.

Para estudantes com deficiência intelectual ou autismo, o educador pode criar aplicações que façam uso e explorem os objetos reais e sua interação com a aplicação, para estimular e proporcionar as generalizações e a formação de conceitos. Pode tirar proveito do uso das instruções sequenciais e instruções passo a passo, da repetição de explicações e correção de comportamentos inadequados quando necessárias, das dicas e feedbacks sonoros e visuais, a partir dos interesses e preferências de cada estudante. A exploração de jogos pedagógicos, uso de imagens, fotos, esquemas, signos e apoios visuais nas aplicações é uma alternativa possível e interessante para esses estudantes.

Para estudantes com deficiência auditiva, o educador pode elaborar aplicações e atividades que utilizem, em todas as cenas, elementos que favoreçam a sua compreensão, como uso de feedback com imagens significativas, vídeos com legenda, uso de Libras como complemento e alternativa aos textos, áudios e vídeos.

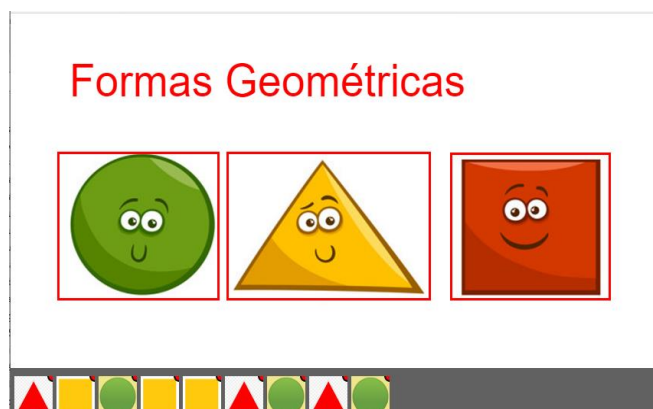
Para um estudante com baixa visão o educador pode criar uma aplicação com imagens grandes e em alto contraste, letras caixa e tamanho grande. Para um estudante com cegueira a aplicação precisa ter em todas as cenas um áudio de instrução com audiodescrição de cada uma das cenas e seus elementos. Em ambos os casos, pode-se fazer uso de objetos tangíveis, em relevo, apresentadas antecipadamente ao estudante. A interação desses objetos com a mesa pode apresentar informações sob a forma de audiodescrição. As áreas de interação da mesa, nestes casos pode explorar os conceitos de lateralidade e posição sobre a superfície da mesa: esquerda, direita, centro, cima, baixo.

Para um estudante com deficiência física ou neuromotora podem ser desenvolvidas aplicações que estimulam a motricidade fina, com movimentos de seguir linha ou caminho, girar, segurar ou mover um objeto, além de explorar aplicações que envolvem reconhecimento e identificação de cores, formas, números, tamanhos, natureza e semelhança de objetos.

O princípio básico de uma aplicação para mesa tangível consiste em criar um conjunto de cenas. Em cada cena, além das imagens e textos que a compõem, é definido um áudio que apresentará um conteúdo ou instrução para a realização da atividade. A interação ocorre com a colocação dos objetos reais (com os marcadores fiduciais colados em sua base) sobre as áreas de interação, previamente demarcadas em cada cena, e com a definição de quais marcadores fiduciais (um número identificador de 1 a 40) são corretos e incorretos. Para cada interação, um feedback sonoro ou visual é apresentado, de acordo com o acerto ou erro. Quando todos os objetos forem colocados em todas as áreas de interação da cena, um feedback sonoro ou visual é reproduzido e a próxima cena é exibida. Para apresentar o conteúdo podem ser utilizadas uma ou mais cenas, com textos, imagens, animações ou vídeos.

Por exemplo, inicialmente, uma aplicação pode apresentar informações sobre o objeto da interação e criar uma relação entre o objeto e o conceito que está sendo trabalhado. A figura 97 apresenta um exemplo de uma cena na qual o estudante precisa identificar as formas geométricas: círculo, triângulo e quadrado e colocar os objetos reais com estas formas na área de interação adequada.

Figura 97 – Exemplo de interação na mesa tangível

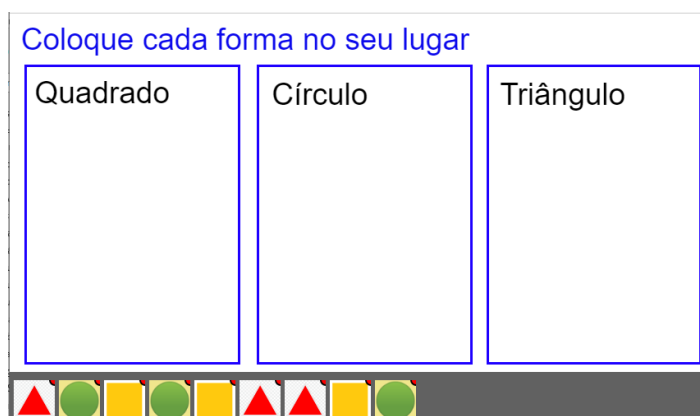


Fonte: do autor

Ao colocar cada forma geométrica sobre sua respectiva área de interação, um feedback sonoro informa que ele acertou a colocação do objeto com a respectiva representação e informa o nome da forma geométrica, para que a criança vá relacionando a imagem da forma com o objeto real e o seu respectivo nome. Quando todos os objetos forem colocados nas respectivas áreas de interação, um feedback sonoro é reproduzido informando que a atividade está completa e pode parabenizar ou incentivar o estudante, visto que é importante fornecer feedbacks positivos para manter o interesse e satisfação na realização da atividade. Após o feedback, a próxima cena é exibida.

Na sequência, para avaliar se as relações foram estabelecidas e o conceito foi formado, pode fazer uma atividade, como por exemplo, solicitar que todas as formas sejam colocadas no local correto, de acordo com seu nome, como mostra a figura 98. Para cada objeto com a forma geométrica colocada na área de interação, um feedback é reproduzido. Quando todas os objetos com as formas geométricas forem colocados nas respectivas áreas, um feedback é reproduzido informando que a atividade está completa e a próxima cena é exibida.

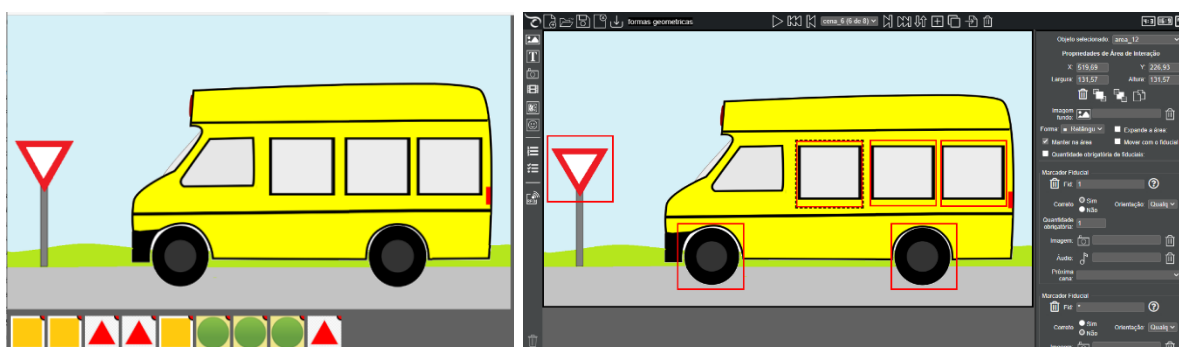
Figura 98 – Exemplo de interação na mesa tangível



Fonte: do autor

E por fim, uma outra atividade pode ser proposta, aplicando o conceito trabalhado para avaliar se o estudante visualiza e percebe o mesmo em outro cenário, como por exemplo, solicitando que ele identifique as formas geométricas em uma imagem, como mostra a figura 99, à esquerda. Neste exemplo, as bordas das áreas de interação não precisam estar visíveis, para que o estudante identifique a placa de trânsito como sendo um triângulo, mesmo que esteja invertido, os pneus como o círculo e as três janelas como quadrados. Quando todos os objetos forem colocados nas respectivas áreas, que estão ocultas, mas estão demarcadas (fig. 99, à direita), um feedback é reproduzido e uma nova cena é exibida.

Figura 99 – Exemplo de interação na mesa tangível



Fonte: do autor

Além do feedback sonoro, é interessante exibir um feedback visual, que pode ser um pictograma ou uma imagem animada (GIF animado), como, por exemplo, as apresentadas na figura 100. No editor é possível escolher o tamanho e local na cena onde o feedback será exibido e escolher a o tempo de exibição da imagem (em segundos) após cada interação.

Figura 100 – Exemplo de imagens para feedback visual



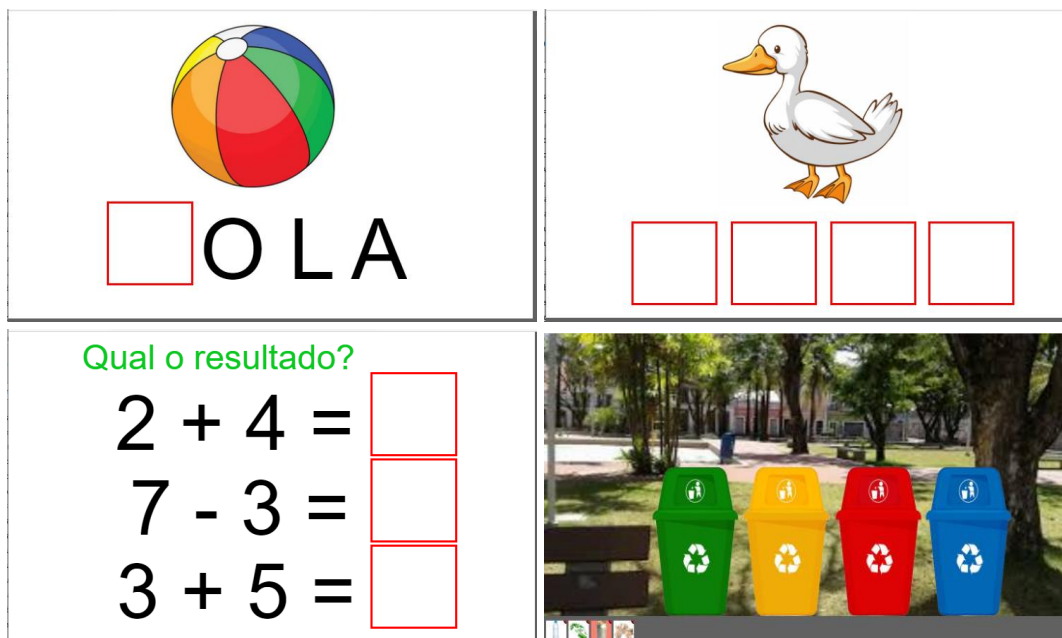
Fonte: do autor

É possível também criar aplicações que exploram as letras e números, onde é possível solicitar ao estudante que coloque uma letra, forme uma palavra ou o resultado de um cálculo. Para usar na mesa tangível, letras e números em EVA podem ser usadas como objetos de interação, com os marcadores fiduciais colados em sua base. Um outro exemplo típico de uma aplicação que utiliza os objetos reais de forma significativa é a colocação do lixo na lixeira adequada, para uma coleta seletiva, na qual o aluno pode utilizar objetos reais, como garrafa



pet, lata de refrigerante, vidro e papel. Neste exemplo, não é necessária a exibição de uma área de interação, apesar de que elas estão definidas sobre as imagens das lixeiras. A figura 101 apresenta os exemplos de aplicações com letras, números e objetos reais.

Figura 101 – Exemplos de aplicação para mesa tangível



Fonte: do autor

As áreas de interação normalmente não podem se sobrepor, mas em alguns casos, pode-se utilizar a sobreposição de áreas para obter o efeito desejado na aplicação, como por exemplo, na aplicação que exige a colocação de três objetos na mochila. Neste caso, devem ser adicionadas três áreas de interação sobrepostas (fig. 102, à esquerda). Numa delas deve-se definir qual o marcador fiducial correto e definir explicitamente quais os incorretos, deixando de fora os outros dois que serão os corretos das outras duas áreas. Nas outras duas áreas de interação, deve ser definido somente o marcador fiducial correto, visto que os incorretos são tratados pela primeira área. Para um efeito visual adequado, deve ser criada uma imagem para cada um dos objetos que irão aparecer dentro da mochila e associadas a cada marcador fiducial, para serem exibidas quando os mesmos forem colocados sobre a área de interação. A imagem precisa ter o tamanho da área de interação, com fundo transparente, mas o objeto precisa ter o tamanho e posicionamento de acordo com o local onde será exibido após a colocação do objeto sobre a área, como no exemplo onde a maçã está mais à esquerda, o caderno centralizado e a garrafa d'água mais à direita. Quando os objetos forem colocados sobre a área de interação na mesa tangível, as imagens dos objetos serão exibidas sobrepostas, de acordo com cada interação e área (fig. 102, à direita).

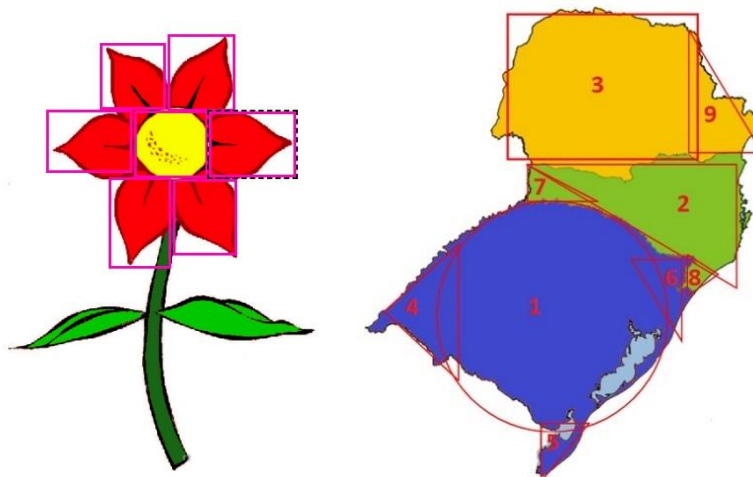
Figura 102 – Exemplo de sobreposição de áreas de interação



Fonte: do autor

Normalmente as áreas de interação são de forma quadrada ou retangular, mas podem ser de outras formas: octógono, losango, círculo, elipse ou triângulo e podem ser agrupadas, expandindo a atuação de uma área para cobrir outras partes da cena, como se fosse uma extensão da área original. É possível adicionar e agrupar várias outras áreas na cena e elas atuarão como se fossem uma só, como no exemplo da figura 103, onde as seis áreas que estão sobre as pétalas da flor se comportam como se fosse uma única área, do mesmo modo que as áreas são agrupadas para cobrir o mapa do Rio Grande do Sul (áreas 1, 4, 5 e 6), Santa Catarina (áreas 2, 7 e 8) e Paraná (áreas 3 e 9). No caso de áreas agrupadas também é possível a sobreposição, desde que sejam do mesmo agrupamento.

Figura 103 – Exemplos de agrupamento de áreas de interação



Fonte: do autor

É possível adicionar uma imagem na área de interação e mover essa área e imagem com a movimentação do objeto sobre a mesma, durante a execução da aplicação, permitindo movimentos de arrastar até outra área pré-definida. Esta opção serve para implementações de atividades de recolher lixo, por exemplo, onde uma área pode ter uma imagem de cacos de vidro e só pode ser movida pelo fiducial de uma pá até a lixeira adequada de vidros (fig. 104-a).

Somente o fiducial correto move a área e ela somente pode ser arrastada até a área correta de destino. Se for arrastada para uma área que não é correta, ela volta para a posição inicial e um feedback visual ou sonoro é apresentado. Com este recurso também é possível criar atividades de relacionar, onde é necessário utilizar o objeto correto para arrastar um elemento até uma área específica na cena, como no exemplo onde é necessário arrastar o nome da árvore até a área com a imagem da árvore e sua flor/pinha (fig. 104-b). Isso permite também a criação de atividades de percorrer caminhos, para aprimorar a motricidade fina, onde uma área de destino é demarcada e ao redor são colocadas áreas que não podem ser percorridas, como no exemplo da aplicação que precisa estacionar cada carro na sua respectiva garagem, sem passar pela grama (fig. 104-c).

Figura 104 – Exemplos do uso do recurso de mover área de interação com o fiducial



(c)  
Fonte: do autor

É possível também implementar atividades com escolhas a partir de um resultado de um dado. Na mesa tangível, pode-se usar um dado com os fiduciais correspondentes aos números 1 a 6 colados em cada uma das faces e no emulador será exibido um fiducial que representa um dado (fig. 105). Ao clicar sobre o dado e clicar sobre a cena, é gerado um número aleatório

entre 1 e 6. Ao colocar o dado sobre uma área de interação, a ação correspondente ao número sorteado (fiducial de 1 a 6) será executada, exibindo a cena correspondente.

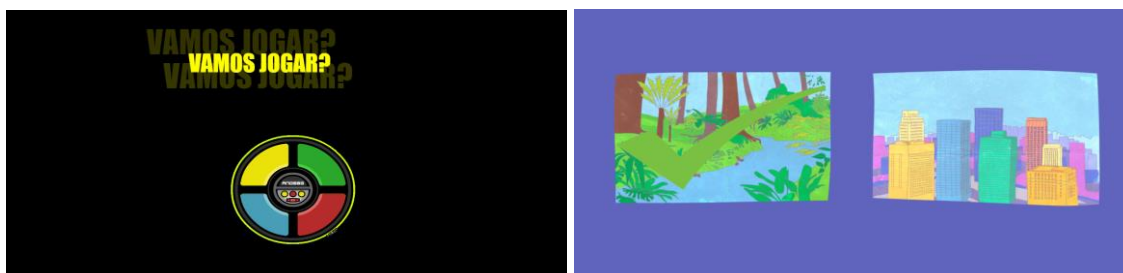
Figura 105 – Exemplos de atividade com dado



Fonte: do autor

Para criar atividades respeitando as ordens de seqüências, como por exemplo, uma receita de bolo onde deve ir primeiro a farinha, depois o leite, depois os ovos e por último o fermento, devem ser criados os requisitos. Quando há requisitos, a lista de fiduciais da área de interação apresenta novos campos relacionados aos requisitos, com a escolha do requisito necessário e quantidade exigida, imagem e áudio de erro de requisito. O requisito funciona como um contador e assim é possível testar e exigir que o requisito tenha ocorrido um determinado número de vezes, igual, maior ou menor que o pretendido. Com esse recurso de requisitos é possível implementar aplicações que exigem a colocação dos objetos em ordem, como na aplicação que exige a colocação das cores na ordem solicitada (fig. 106, à esquerda) e na aplicação que explora os ambientes da cidade e natureza (fig 106, à direita), na qual o estudante pode escolher qual deles quer explorar na tela inicial; ao escolher um deles, o uso de requisitos impede de visitar novamente o mesmo ambiente (os ambientes cidade e natureza exigem requisito igual a zero para entrar); ao visitar os dois, cumpre o requisito (o requisito visitas é igual a dois) e não exibe mais a tela inicial de escolha.

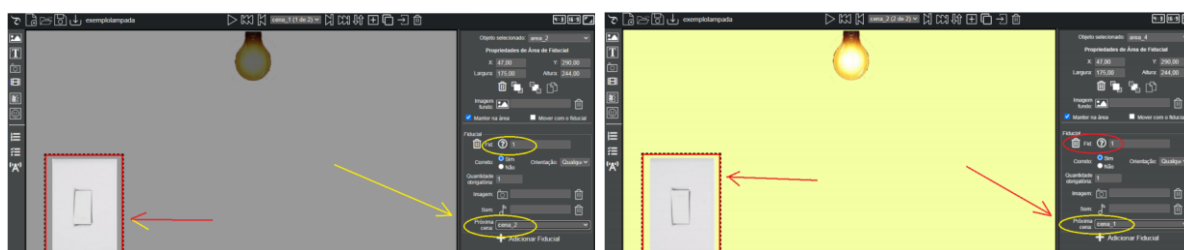
Figura 106 – Exemplos de aplicações com a funcionalidade de requisitos



Fonte: do autor

Quando são necessários efeitos mais complexos numa cena, é possível usar a técnica de exibir outra cena com os elementos desejados. Não é possível trocar a imagem de fundo e as imagens que compõem a cena depois de um certo tempo ou após a colocação de um objeto sobre a mesa, mas é possível exibir uma nova cena quando essas condições ocorrerem, como por exemplo, no caso de uma aplicação na qual se queira simular um acender a apagar de uma lâmpada. Neste caso, duas cenas devem ser criadas: a primeira com o ambiente escuro e o interruptor e lâmpada desligados e a segunda com o ambiente claro e o interruptor e lâmpada ligados (fig. 107). Na cena 1, ao colocar um objeto sobre o interruptor, a cena 2 é exibida, dando a impressão de que a luz se acendeu. Ao colocar um objeto sobre o interruptor na cena 2, a cena 1 é exibida, dando a impressão de que a luz se apagou.

Figura 107 – Exemplos de uso da técnica de exibir outra cena



Fonte: do autor

É importante a realização de uma capacitação de professores para a organização do planejamento da aplicação, bem como de atividades tecnológicas específicas, como o tratamento de imagens digitais (recortar, inverter, deixar fundo transparente, criar GIFs animados), edição de áudio (gravar, cortar, reduzir o ruído, normalizar) e edição de vídeo (editar, cortar, retirar ou separar o áudio, legendar), pois esses elementos são essenciais para o desenvolvimento das aplicações para a mesa tangível. Para um uso eficiente e produtivo dos recursos tangíveis na educação inclusiva é necessário colocar em prática um modelo de formação de docentes que propicie elementos teóricos e metodológicos para uma integração propositiva crítica dos recursos tecnológicos digitais à prática pedagógica.

O desenvolvimento de uma aplicação envolve a escolha de um tema, a elaboração de um planejamento, a escolha, criação e edição das imagens e vídeos que serão usadas nas cenas e nos feedbacks, a escolha, gravação e edição dos áudios das instruções e feedbacks das cenas e a criação da aplicação com o Eduba Editor.

### 7.4.1 Planejamento

Para o desenvolvimento de uma aplicação para a mesa tangível é necessário um planejamento, no qual estejam bem definidos: o tema e os objetivos propostos, a quantidade de cenas da aplicação, o objetivo de cada cena, as imagens, vídeos e textos que serão exibidos na cena, os áudios que irão instruir e orientar o estudante sobre a atividade, a especificação das áreas de interação e seus respectivos feedbacks. Os objetos interativos devem ser significativos, pois a principal diferença de interação de uma mesa tangível e de um tablet é a possibilidade de uso de objetos reais para a interação, ao invés de apenas toques e arrasto de elementos na tela.

Para o planejamento da aplicação para uma mesa tangível é necessário:

- a) **Definir o objetivo:** a aplicação precisa ter seu objetivo bem estabelecido e a forma como ele será abordado, se será contextualizando um assunto, apresentando as informações de forma interativa ou se será problematizando o assunto, através de questionamentos e desafios nos quais o estudante pode ir demonstrando o que já conhece sobre o assunto e aprendendo novos conceitos por tentativa e erro.
- b) **Definir os objetos de interação:** o que difere a interação numa mesa tangível de uma aplicação para um tablet é a possibilidade de uso de objetos reais para a interação. Devem ser escolhidos e definidos os objetos que serão usados para realizar a interação na mesa tangível (fig. 108) e seus respectivos marcadores fiduciais (um número de 1 a 40 para cada objeto) que serão colados em suas bases. Os objetos precisam ser significativos e coerentes com a interação e objetivos pretendidos e ser facilmente identificáveis pelas crianças, para que a associação do real com o virtual favoreça as metáforas, fazendo com que o efeito do sistema de uma ação do usuário seja análogo ao efeito do mundo real de ações semelhantes (FISHKIN, 2004) e proporcione a formação de conceitos e a generalização.
- c) **Definir a quantidade de cenas:** a quantidade de cenas e a ordem que elas serão exibidas devem ser estabelecidas. A aplicação pode ser linear – com a exibição sequencial das cenas – ou pode ser não linear – com escolhas ou menus, de acordo com os objetos colocados sobre a mesa.
- d) **Definir o objetivo de cada cena:** cada cena necessita ter o seu objetivo definido, podendo ser para exibir alguma informação com ou sem interação ou para realizar alguma atividade ou desafio com a interação dos objetos.



Figura 108 – Objetos reais e seus respectivos marcadores fiduciais



Fonte: do autor

#### 7.4.2 Edição dos Recursos Multimídia

Após o planejamento, é necessário preparar as mídias que serão utilizadas na aplicação para a mesa tangível:

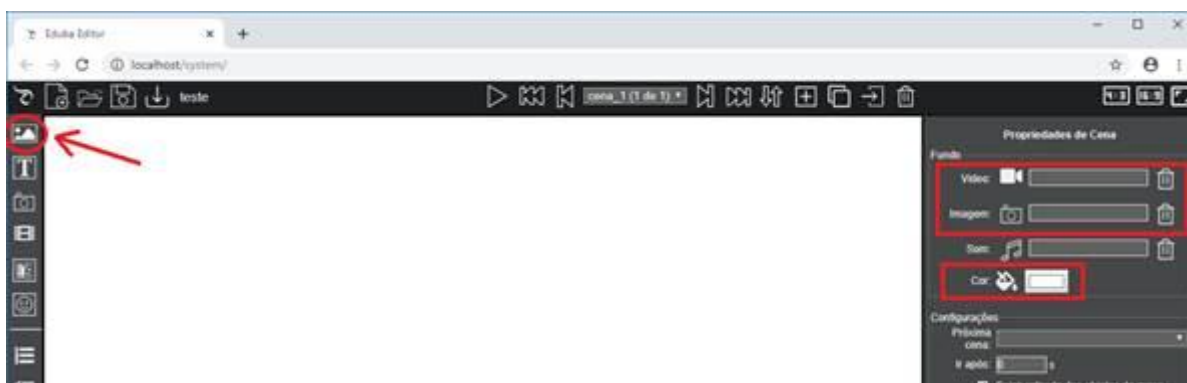
- a) **Imagens:** escolher e editar ou produzir as imagens que serão usadas nas cenas como imagem de fundo, demais imagens das cenas e imagens para o feedback. As principais ações que envolvem a edição de imagens são: recortar a imagem, deixar o fundo transparente, remover algum elemento da imagem, aplicar alguma transformação, como inverter e criar pequenos deslocamentos, criar um GIF animado e ajustar a cor e brilho;
- b) **Áudios:** escolher e gravar os áudios que serão usados nas instruções de cada cenas e nos feedbacks. As instruções precisam ser claras e objetivas. As principais atividades de edição de áudio envolvem: gravar, cortar, juntar, mixar (música de fundo), reduzir o ruído, normalizar, mudar o tom, separar vocal da música, converter para o formato .mp3 ou .ogg, encontrar efeitos e trilhas sonoras.
- c) **Vídeos:** escolher e editar ou produzir os vídeos que serão usados nas cenas como vídeo de fundo ou fazendo parte de uma ou mais cenas. As principais atividades de edição de vídeo envolvem: cortar, juntar, silenciar o áudio, substituir o áudio de um vídeo, colocar música ou áudio de fundo, alterar a velocidade do vídeo, capturar uma imagem de um vídeo, legendar, editar um vídeo com várias mídias e transições e encontrar e baixar vídeos.

### 7.4.3 Criação da aplicação com o Eduba Editor

Após o planejamento, edição das imagens, áudios e vídeos, o Eduba Editor deve ser utilizado para criar as aplicações. Uma aplicação inicia com o nome da mesma e a criação da primeira cena, configurando:

- a) **Fundo da cena:** deve ser escolhida a imagem de fundo, o vídeo de fundo ou a cor de fundo da cena (fig. 109).

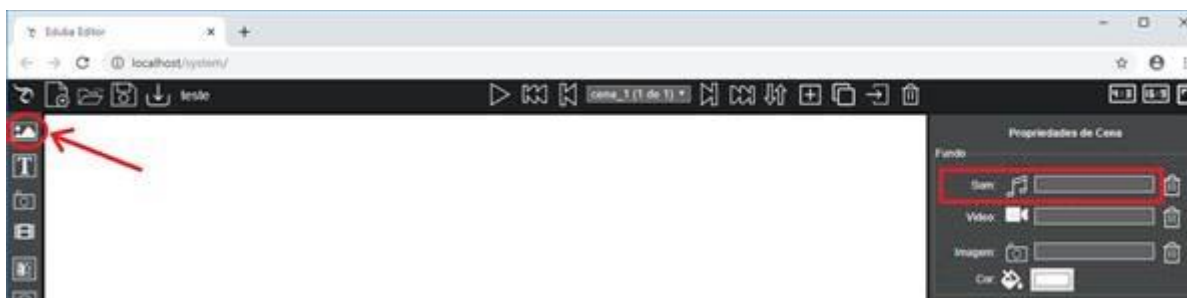
Figura 109 – Configuração do fundo da cena



Fonte: do autor

- b) **Áudio de fundo:** efeito sonoro ou texto de narração para instruir o estudante sobre a atividade, gravando ou escolhendo um áudio no formato .mp3 ou .ogg (fig 110).

Figura 110 – Configuração do áudio da cena

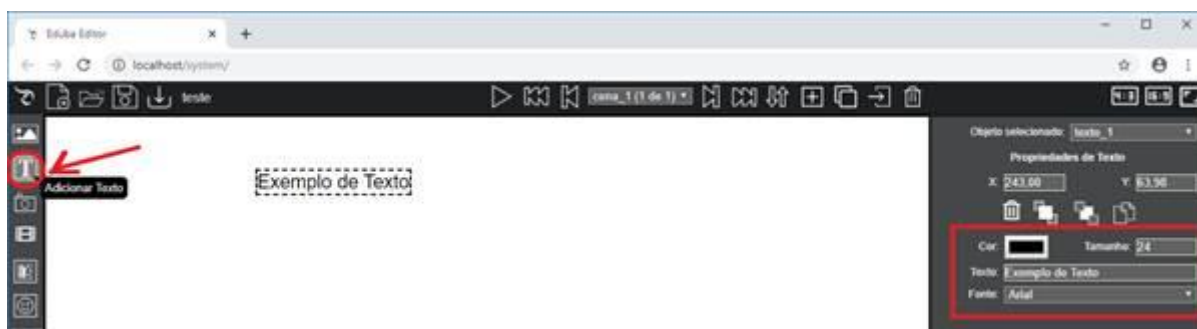


Fonte: do autor

- c) **Texto:** pode-se colocar textos na cena, definindo a cor, tamanho e fonte e clicando na área de edição da cena para inserir o elemento de texto (fig. 111).



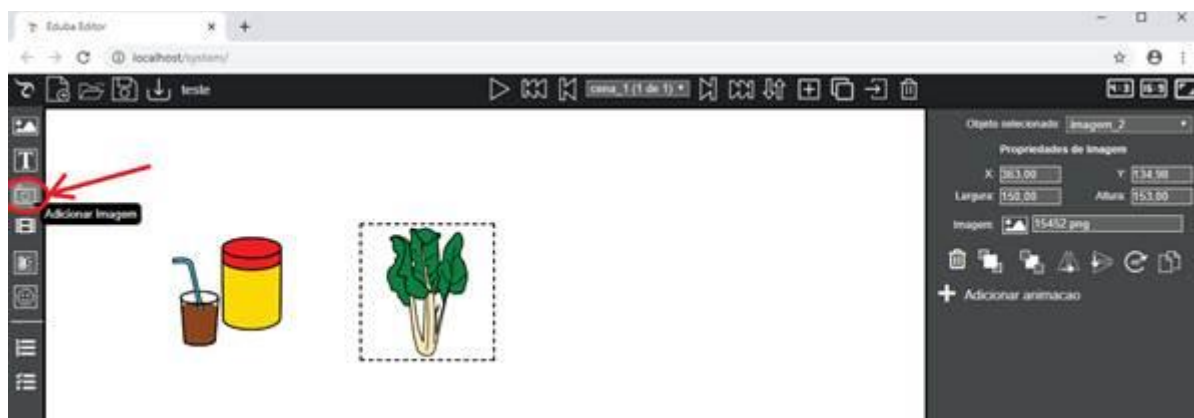
Figura 111 – Configuração do elemento de texto



Fonte: do autor

- d) **Imagens:** podem ser inseridas imagens para compor a cena, clicando no respectivo botão, escolhendo o arquivo e clicando na área de edição da cena para inserir o elemento (fig. 112).

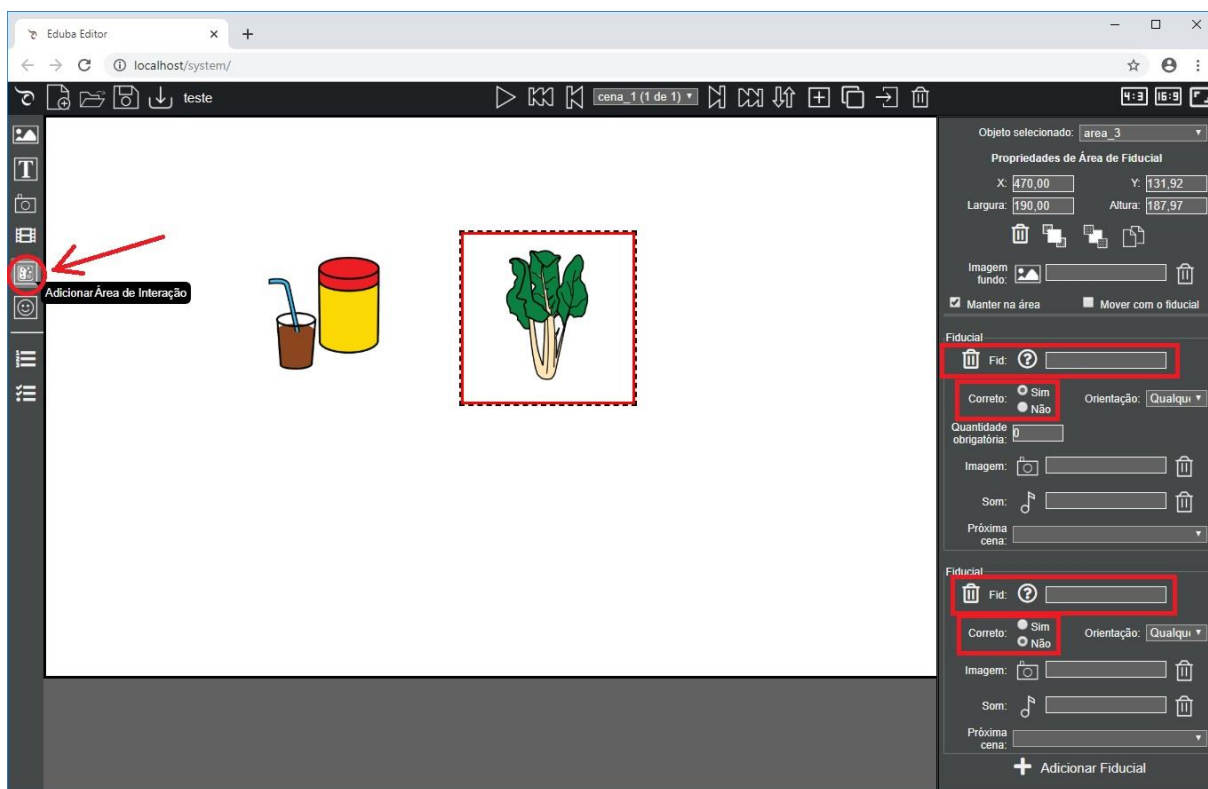
Figura 112 – Configuração do elemento de imagem



Fonte: do autor

- e) **Áreas de interação:** para realizar a interação, uma ou mais áreas de interação podem ser inseridas na cena, configurando os marcadores fiduciais corretos e incorretos de cada área e, opcionalmente escolhendo um áudio ou imagem para ser exibida quando ocorrer a interação (fig. 113).

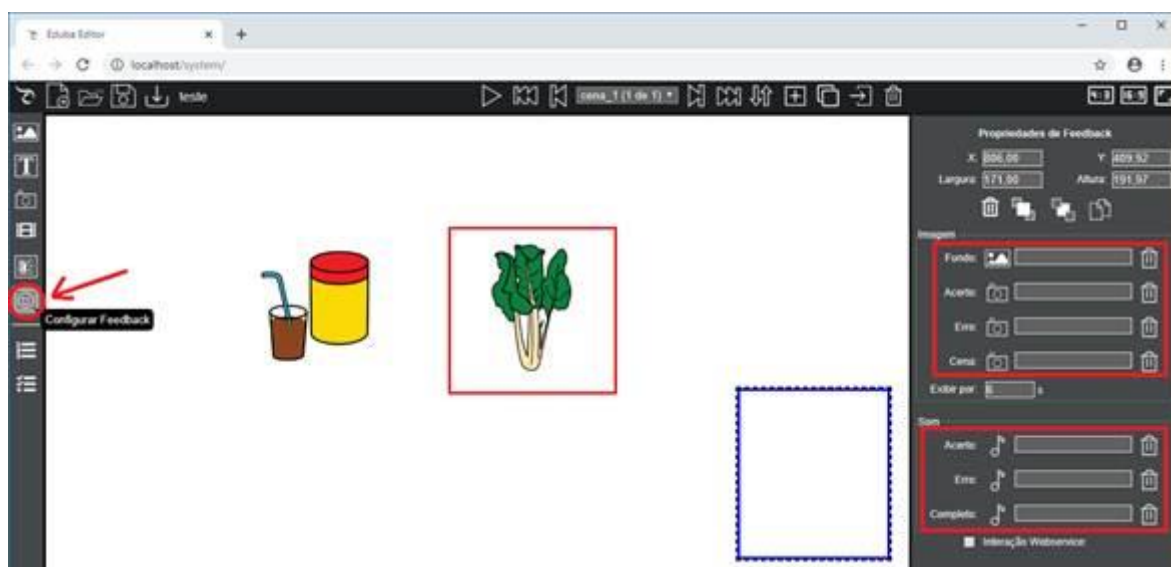
Figura 113 – Configuração da área de interação



Fonte: do autor

- f) **Feedback:** Escolher as imagens e áudios para o feedback de acerto e erro de acordo com as colocações dos marcadores fiduciais nas áreas de interação (fig. 114), lembrando que um feedback positivo e encorajador deve sempre ser dado.

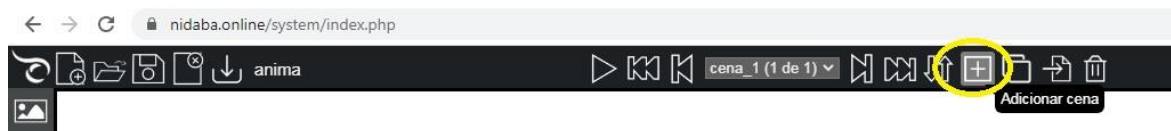
Figura 114 – Configuração do feedback da cena



Fonte: do autor

- g) **Adicionar nova cena:** clicando no botão Adicionar Cena (fig. 115), uma nova cena é inserida na aplicação.

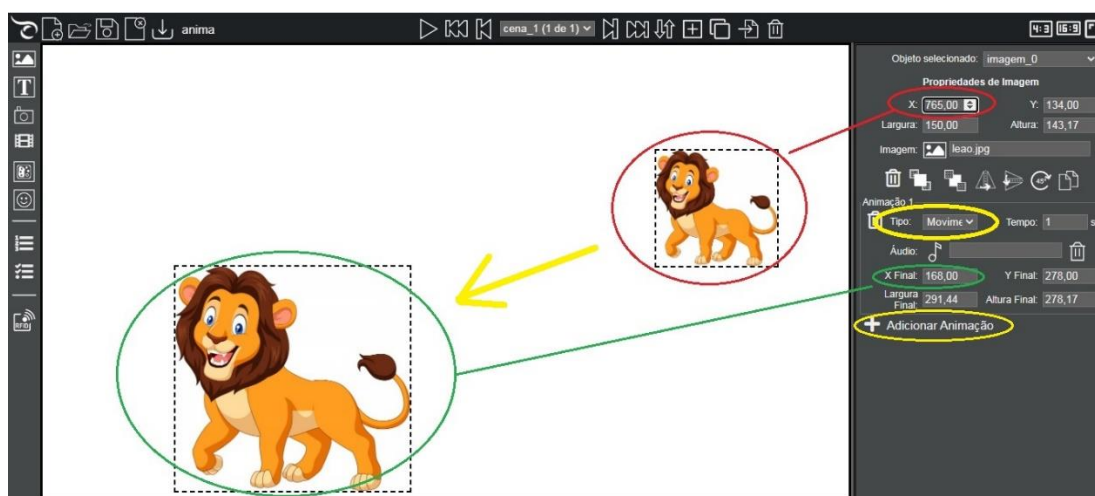
Figura 115 – Inserção de uma nova cena na aplicação



Fonte: do autor

É possível adicionar animações nas imagens que compõem as cenas. As animações podem ser: atraso na exibição, aparecer, desaparecer, *fade-in*, *fade-out*, *zoom-in*, *zoom-out*, aparecer, deslizar, destaque, sacudir, pulsar ou movimento. Para cada animação, pode ser escolhido um áudio que será reproduzido durante a animação. A animação de movimento pode ser incluída facilmente, adicionando o efeito e movendo a imagem para a posição final e redimensionando o seu tamanho (fig. 116).

Figura 116 – Exemplos de animação de imagem

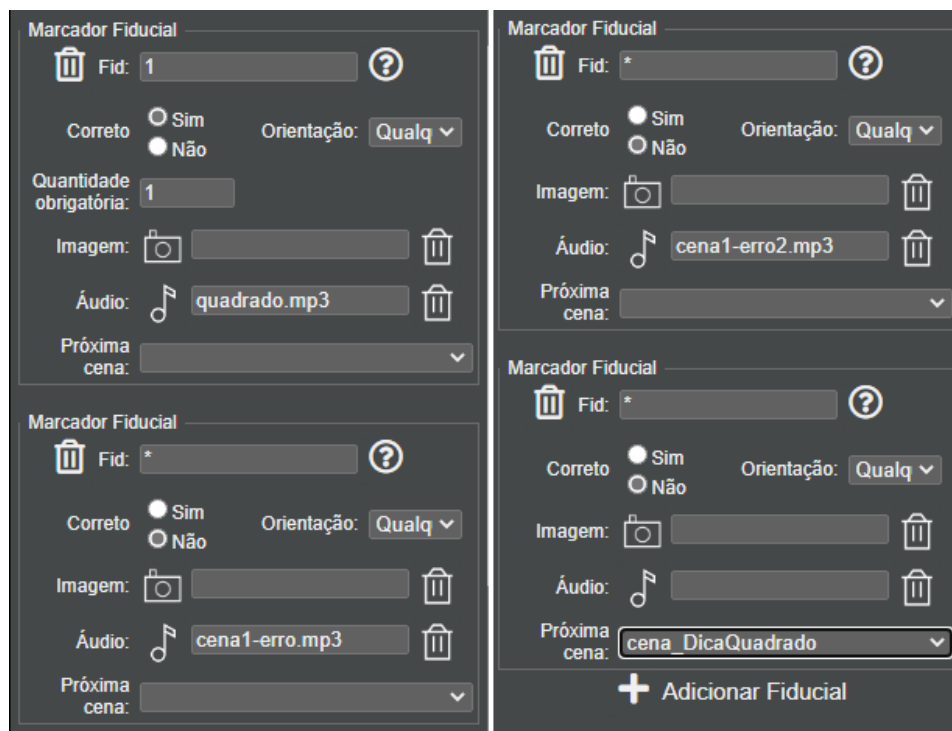


Fonte: do autor

É possível fornecer diferentes feedbacks de erro quando os objetos não são colocados na área correta. Para isso, basta adicionar fiduciais incorretos na lista da respectiva área de interação. No exemplo mostrado na figura 117, se colocar qualquer objeto com o marcador fiducial que não seja o 1, representando pelo asterisco (\*), a primeira vez será reproduzido o áudio “cena1-erro.mp3”; a segunda vez que ocorrer o erro será reproduzido o áudio “cena1-erro2.mp3” que, além de informar o erro pode dar uma dica adicional para auxiliar o aluno a encontrar a resposta correta; a partir da terceira vez que o aluno errar nesta cena, ao invés de

reproduzir um áudio, será exibida uma outra cena (Próxima cena: “cena\_DicasQuadrado”) com dicas e uma lição de reforço.

Figura 117 – Diferentes feedbacks para erroS numa área de interação



Fonte: do autor

## 7.5 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

A interrupção das atividades de pesquisa nas escolas desde março de 2020, ocasionada pela paralização das atividades presenciais devido à pandemia, impediu a conclusão do acompanhamento do uso da mesa tangível pelos professores para comprovar a eficácia e pertinência da mesa tangível para uso na educação inclusiva e a adaptação de algumas atividades para criação de aplicações para a mesa tangível. Assim, somente foi possível avaliar a pertinência e eficácia do uso das tecnologias tangíveis no contexto inclusivo, com base nas observações e nos questionários de avaliação de usabilidade do editor (SUS) e inventário da motivação intrínseca (IMI) aplicados aos alunos de disciplinas de graduação e pós-graduação da UFRGS. Quando for possível, essas atividades serão retomadas, como parte das pesquisas dos projetos PITAIA e NIDABA e seus resultados serão publicados posteriormente.

A transformação do sistema de mesa tangível numa plataforma adaptativa é uma necessidade e um módulo foi criado para isso de modo a permitir a supervisão da aprendizagem, educação personalizada e gestão pedagógica. Com isso, o sistema é capaz de propor diferentes

trilhas de aprendizado na execução das atividades na mesa tangível, além de fornecer relatórios de desempenho individualizado nas atividades de acordo com o assunto, tema, conteúdo e nível de dificuldade. Este módulo ainda necessita de validação, com a realização dos testes de uso nas escolas e está implementado sob a forma de protótipo. A validação, os eventuais ajustes necessários e os resultados finais do uso desta plataforma adaptativa na educação inclusiva serão realizados futuramente, como parte das atividades do projeto NIDABA, com a incorporação definitiva do módulo no Eduba Editor e com a publicação dos resultados.

O módulo de comunicação do Eduba Editor com os robôs educacionais e dispositivos eletrônicos está sendo aprimorado como parte de outras duas teses de doutorado em andamento no PPGIE/UFRGS. Estes resultados que envolvem o Eduba Editor e a plataforma proposta serão publicados nas respectivas teses e em artigos, em publicações conjuntas, futuramente.

O Eduba Editor continuará em constante evolução e aprimoramentos, incorporando funcionalidades, mas sem aumentar a complexidade para continuar sendo fácil e intuitivo, de modo que sempre possa ser utilizado por pessoas que não dominam a lógica de programação. Uma das funcionalidades que será incluída em breve é a possibilidade de desfazer a última ação (Ctrl Z), caso o usuário tenha apagado acidentalmente um elemento ou alterado suas propriedades e também a possibilidade de habilitar uma restrição para que a interação com as áreas dos fiduciais sejam possíveis somente após o áudio explicativo terminar.

O módulo de avaliação pode ser aprimorado num trabalho futuro, para identificar os diferentes métodos de avaliação e analisar o que é necessário numa aplicação de mesa tangível para dar suporte à avaliação. A incorporação destas características e funcionalidades no Eduba Editor, para proporcionar a criação de aplicações para mesa tangível com suporte aos métodos de avaliação mais usados e a implementação de controle de tempo na execução das atividades e tarefas, pode proporcionar recursos importantes para o diagnóstico e avaliação, especialmente para estudantes com algum tipo de deficiência.

## 8 CONCLUSÃO

O crescente uso dos recursos tecnológicos no processo de ensino-aprendizagem, especialmente na educação inclusiva é uma realidade e uma necessidade, capaz de proporcionar um ambiente com mais recursos para a mediação, oferecendo melhores condições para envolver as crianças e estimular a interação e a construção do seu próprio conhecimento através da comunicação textual, visual e motora.

As políticas públicas de educação garantem o direito e o acesso à educação para todas as pessoas, com ou sem deficiência, deixando a cargo das escolas e educadores o desafio de adaptar, preparar e desenvolver técnicas, metodologias e recursos para proporcionar a educação ampla e completa para esses estudantes. Isto é ainda mais relevante se considerarmos que, estatisticamente falando, a cada trinta estudantes matriculados na educação, um deles apresentará algum tipo de deficiência e cabe à escola e ao educador a eliminação de barreiras e a garantia da acessibilidade em todos os contextos, como o arquitetônico, comunicacional, metodológico, instrumental e atitudinal. Em alguns casos, é necessário o uso de tecnologia assistiva com produtos, técnicas, aparelhos e procedimentos para compensar os impedimentos de uma pessoa e melhorar sua capacidade funcional, promovendo a inclusão e autonomia. Neste sentido, esta plataforma é uma alternativa viável para este propósito.

O uso de mesas tangíveis para fins educacionais apresenta consideráveis vantagens, pois permite realizar as interações com o ambiente computacional a partir da manipulação de objetos reais, podendo proporcionar atividades mais enriquecedoras e interativas que incrementem o engajamento e motivação dos estudantes. Isto pode ser um importante recurso de tecnologia assistiva para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem de estudantes com ou sem deficiência. As atividades educacionais e colaborativas para a mesa tangível podem atender às necessidades educacionais especiais de estudantes com deficiência visual, auditiva, física, intelectual ou autismo, mas também servem para todos os estudantes, com ou sem deficiências, criadas com base no design universal.

O desafio para os educadores consiste em se apropriar destas tecnologias e recursos para mesa tangível e ter as condições de criar seus próprios recursos educacionais tangíveis, sem a necessidade de aprender lógica de programação e poder criar suas aplicações com praticamente a mesma facilidade e simplicidade com criam suas apresentações no PowerPoint. Para um uso eficiente e produtivo dos recursos tangíveis na educação inclusiva é necessário colocar em prática um modelo de formação de docentes que propicie elementos teóricos e metodológicos

para uma integração propositiva crítica dos recursos tecnológicos digitais à prática pedagógica, além de preparar o professor para atividades tecnológicas específicas, como o tratamento de imagens digitais, edição de áudio e de vídeo, pois esses elementos são necessários para o desenvolvimento das aplicações para a mesa tangível. As estratégias educacionais para uso da mesa tangível apresentam os elementos necessários para seu uso e para a formação e preparação do professor para uso desta tecnologia no ambiente educacional.

Neste contexto, uma plataforma digital para produção de recursos educacionais inclusivos baseados em mesa tangível foi analisada, desenvolvida e testada e está pronta para ser utilizada na educação inclusiva. Ela permite apoiar e qualificar práticas pedagógicas com a criação de recursos educacionais, com um potencial maior para estudantes com deficiência intelectual ou autismo, por proporcionar interações com objetos reais na mesa tangível, favorecendo as generalizações e formações de conceitos através das representações visuais e simbólicas de outros objetos, mas serve também como tecnologia assistiva para atender as necessidades educacionais especiais de pessoas com deficiência visual, auditiva e alguns tipos de deficiência física ou neuromotora. Adicionalmente, ele permite que esses recursos educacionais sejam utilizados por todos os demais alunos, na mesa tangível ou de modo simulado através do computador ou dispositivos móveis.

A plataforma consiste numa ferramenta de autoria baseada num editor de recursos educacionais tangíveis (Eduba Editor) para ser usado pelos educadores para criarem suas próprias aplicações de modo fácil, intuitivo e interativo, um *player* (Nidaba *Player*) para executar as aplicações numa mesa interativa tangível, um emulador para executar as aplicações de modo simulado e as bibliotecas para a comunicação da plataforma com os dispositivos robóticos e eletrônicos. A plataforma também permite a identificação dos estudantes e registra os dados de uso e desempenho nas atividades da mesa tangível, para a gestão pedagógica. Além da plataforma, foi apresentada uma especificação para a construção e montagem de uma mesa tangível de baixo custo e uma proposta de metodologia para uso da mesa tangível na educação inclusiva.

Para o desenvolvimento desta plataforma foi realizado o levantamento das necessidades pedagógicas, questões de acessibilidade e de atividades cognitivas para a interação tangível no contexto inclusivo a partir de uma pesquisa bibliográfica e do acompanhamento do uso do editor pelos professores das escolas e pelos estudantes de graduação e pós-graduação participantes da pesquisa. A avaliação da usabilidade do editor e do *player* com as aplicações para mesa tangível

e a viabilidade e utilidade da proposta foram realizadas e os resultados apresentaram resultados positivos, validando esta proposta.

A plataforma desenvolvida e o editor reúnem numa única ferramenta, diversas características importantes apresentadas em vários trabalhos relacionados e apresenta ainda, vários recursos inovadores para aplicações para mesa tangível, como animações das imagens baseadas em temporização ou eventos, implementação de requisitos para exigir ordem na colocação dos objetos sobre a mesa, definição de diferentes feedbacks de acordo com a quantidade de erros, criação de atividades não lineares com escolhas e menus, dispor de um emulador para testar as aplicações, permitir a execução de modo simulado em computadores e dispositivos móveis, registro do desempenho na execução das atividades e repositório para compartilhamento de aplicações. Além disso, pode executar, de modo isolado ou integrado aplicações que interagem com ambientes de realidade virtual, fantoches eletrônicos, robôs educacionais e dispositivos eletrônicos baseados em Arduino e Raspberry Pi.

Este trabalho apresentou uma proposta viável para ser utilizada como instrumento de mediação tecnológica na educação inclusiva, contemplando uma plataforma para a produção de recursos educacionais baseados em mesa tangível, que atende às necessidades pedagógicas, envolvendo as questões de acessibilidade e de atividades cognitivas para a interação tangível no contexto inclusivo. Apresentou ainda uma especificação para a construção e montagem de uma mesa de baixo custo, um editor interativo e intuitivo que pode ser utilizado pelos próprios educadores para a criação das aplicações e as estratégias educacionais para uso desta tecnologia na educação inclusiva.

Como um instrumento de mediação tecnológica com características interacionistas, essa plataforma digital pode ser utilizada e aplicada em diferentes abordagens, modelos e métodos educacionais, de treinamento, reabilitação e terapia que envolvam interação tangível. Sua aplicação nestes contextos é possível e pode ser objeto de pesquisa para sua aplicação e validação. Do mesmo modo, pode ser objeto de trabalhos futuros o aprimoramento da avaliação nesta plataforma digital, para proporcionar diferentes métodos de avaliação e contemplar as características e funcionalidades necessárias para incorporar o diagnóstico e avaliação no Eduba Editor de modo mais abrangente.



## REFERÊNCIAS

ALAVI, A., KUNZ, A., SUGIMOTO, M., *et al.* "Dual Mode IR Position and State Transfer for Tangible Tabletops". 2011. event-place: Kobe, Japan. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2011. p. 278–279. DOI: 10.1145/2076354.2076414. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2076354.2076414>.

AMARAL, A. B. do. **Acessibilidade aplicada ao design instrucional: comunicação para alunos com transtorno do espectro autista na educação fundamental**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Design Visual) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/194016>.

ANASTASIOU, D., MAQUIL, V., RAS, E., *et al.* "Design Implications for a User Study on a Tangible Tabletop". 2016. event-place: Manchester, United Kingdom. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2016. p. 499–505. DOI: 10.1145/2930674.2935982. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2930674.2935982>.

ANASTASIOU, D., MAQUIL, V., RAS, E. "Gesture analysis in a case study with a tangible user interface for collaborative problem solving", **Journal on Multimodal User Interfaces**, v. 8, n. 3, p. 305–317, 2014. DOI: 10.1007/s12193-014-0158-z.

ANDALAM, K., ARUNTHAVASOTHY, K., D’CUNHA, R., *et al.* "Surface Air Hockey: A Step Towards Smart Tangibles". 2016. event-place: Canberra, Australia. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2016. p. 55:1-55:4. DOI: 10.1145/2843043.2843370. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2843043.2843370>.

ANTLE, A. N., MOTAMEDI, N., TANENBAUM, K., *et al.* "The EventTable Technique: Distributed Fiducial Markers". 2009. event-place: Cambridge, United Kingdom. **Anais** [...] New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, 2009. p. 307–313. DOI: 10.1145/1517664.1517728. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1517664.1517728>.

ANTLE, A. N., WARREN, J. L., MAY, A., *et al.* "Emergent Dialogue: Eliciting Values During Children’s Collaboration with a Tabletop Game for Change". 2014. event-place: Aarhus, Denmark. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2014. p. 37–46. DOI: 10.1145/2593968.2593971. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2593968.2593971>.

ARTOLA, V., SANZ, C., MORALEJO, M., *et al.* **Authoring Tool for Creating Tangible Interaction-Based Educational Activities**. [S.l: s.n.], 2015.

BAIERLE, I. L. F. **AETT: Um Ambiente de Ensino Tridimensional Tangível**. 2019. 119 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, São Leopoldo, 2019.

BALDASSARRI, S., CERESO, E., BELTRÁN, J. R. "Immertable: A Configurable and Customizable Tangible Tabletop for Audiovisual and Musical Control". 2017. event-place: Cancun, Mexico. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2017. p. 32:1-32:8. DOI: 10.1145/3123818.3123842. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/3123818.3123842>.

BALDASSARRI, S., MARCO, J., BONILLO, C., *et al.* **ImmertableApp: Interactive and tangible learning music environment**. [S.l: s.n.], 2016. v. 9733. (Lecture Notes in Computer

Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)).

BALDASSARRI, S., PASSERINO, L., RAMIS, S., *et al.* "Videogame-based Case Studies for Improving Communication and Attention in Children with ASD". 2018. event-place: Palma, Spain. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2018. p. 9:1-9:8. DOI: 10.1145/3233824.3233846. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/3233824.3233846>.

BARALDI, S., DEL BIMBO, A., LANDUCCI, L., *et al.* "Introducing Tangerine: A Tangible Interactive Natural Environment". 2007. event-place: Augsburg, Germany. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2007. p. 831–834. DOI: 10.1145/1291233.1291422. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1291233.1291422>.

BARTINDALE, T., HOOK, J., OLIVIER, P. "Media Crate: Tangible Live Media Production Interface". 2009. event-place: Cambridge, United Kingdom. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2009. p. 255–262. DOI: 10.1145/1517664.1517718. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1517664.1517718>.

BARTINDALE, T., SHEIKH, A., TAYLOR, N., *et al.* "StoryCrate: Tabletop Storyboarding for Live Film Production". 2012. event-place: Austin, Texas, USA. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2012. p. 169–178. DOI: 10.1145/2207676.2207700. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2207676.2207700>.

**Best of What's New, 2011 - Popular Science**. 26 dez. 2011. Popular Science. Disponível em: <https://www.popsci.com/technology/article/2011-12/best-whats-new-2011/>. Acesso em: 20 jan. 2020.

BLAGOJEVIC, R., WHITELEY, B., ZHEN, S. J., *et al.* "TUI-Geometry: A Tangible User Interface for Geometric Drawing on an Interactive Tabletop". 2015. event-place: Parkville, VIC, Australia. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2015. p. 566–574. DOI: 10.1145/2838739.2838775. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2838739.2838775>.

BLASCO SANZ, O. **Asistente gráfico para la creación de juegos tangibles para el tabletop NIKVision**. 2015. Trabajo Fin de Grado (Escuela de Ingeniería y Arquitectura) – Universidad Zaragoza, Zaragoza, España, 2015.

BONDY, A., FROST, L. A. "The Picture Exchange Communication System", **Focus on Autism and Other Developmental Disabilities**, v. 9, p. 1–19, 1994. DOI: 10.1177/108835769400900301.

BONILLO, C., BALDASSARRI, S., MARCO, J., *et al.* "Tackling developmental delays with therapeutic activities based on tangible tabletops", **Universal Access in the Information Society**, v. 18, n. 1, p. 31–47, 2019. DOI: 10.1007/s10209-017-0582-4.

BONILLO, C., CERESO, E., BALDASSARRI, S., *et al.* "Tangible Activities for Children with Developmental Disorders". 2016. event-place: Salamanca, Spain. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2016. p. 9:1-9:2. DOI: 10.1145/2998626.2998656. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2998626.2998656>.

BONILLO, C., CERESO, E., MARCO, J., *et al.* **Designing therapeutic activities based on tangible interaction for children with developmental delay**. [S.l.: s.n.], 2016. v. 9739.

(Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)).

BONILLO, C., MARCO, J., BALDASSARRI, S., *et al.* "KitVision toolkit: supporting the creation of cognitive activities for tangible tabletop devices", **Universal Access in the Information Society**, 2019. DOI: 10.1007/s10209-019-00644-3.

BOTTINO, A., MARTINA, A., TOOSI, A. "GAINE — tanGible augmented interaction for edutainment". jun. 2015. **Anais [...]** [S.l: s.n.], jun. 2015. p. 207–216.

BOUABID, A., LEPREUX, S., KOLSKI, C. **Design and evaluation of distributed user interfaces between tangible tabletops**. 2017. Scopus.

BOUABID, A., LEPREUX, S., KOLSKI, C. **Distributed tabletops: Study involving two RFID tabletops with generic tangible objects**. [S.l: s.n.], 2016. v. 9881 LNCS. (Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)).

BRASIL. Decreto Legislativo Nº 186/2008. "Convenção Sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência". , 2008. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/CONGRESSO/DLG/DLG-186-2008.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/CONGRESSO/DLG/DLG-186-2008.htm).

BRASIL. Decreto Nº 6.949/2009. "Convenção Sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência". , 2009. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/decreto/d6949.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6949.htm).

BRASIL. Lei 9394/96. "Diretrizes e bases da educação nacional". , 20 dez. 1996. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19394.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm).

BRASIL. Lei 13.146/2015. "Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência)". , 6 jul. 2015. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/113146.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113146.htm).

BRASIL. Lei 10.005/14. "Plano Nacional de Educação". , 25 jun. 2014. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2014/lei/113005.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/113005.htm).

BRASIL. Lei 12.764/12. "Política Nacional de Proteção dos Direitos da Pessoa com Transtorno do Espectro Autista". , 27 dez. 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112764.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112764.htm).

BROOKE, J., "SUS-A quick and dirty usability scale". In: JORDAN, P. W., THOMAS, B., MCCLELLAND, I. L., *et al.* (Org.), **Usability evaluation in industry**, [S.l.], CRC Press, 1996. p. 189–194. Disponível em: <https://www.crcpress.com/product/isbn/9780748404605>.

CABALLERO, D., WEN, Y., PRIETO, L. P., *et al.* "Single Locus of Control in a Tangible Paper-based Tabletop Application: An Exploratory Study". 2014. event-place: Dresden, Germany. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2014. p. 351–356. DOI: 10.1145/2669485.2669545. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2669485.2669545>.

CATALA, A., JAEN, J., MARTINEZ-VILLARONGA, A. A., *et al.* "AGORAS: Exploring creative learning on tangible user interfaces". In: **Proceedings - International Computer Software and Applications Conference**, 2011. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2011. p. 326–335. DOI:

10.1109/COMPSAC.2011.50. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-80055010283&doi=10.1109%2fCOMPSAC.2011.50&partnerID=40&md5=eca0431dda83f8de9b85f5839ce303d8>.

**CCV - Community Core Vision.** [S.d.]. CCV - Community Core Vision. Disponível em: <http://ccv.nuigroup.com>. Acesso em: 31 jan. 2020.

CEREZO, E., COMA, T., BLASCO-SERRANO, A. C., *et al.* "Guidelines to design tangible tabletop activities for children with attention deficit hyperactivity disorder", **International Journal of Human Computer Studies**, v. 126, p. 26–43, 2019. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2019.01.002.

CEREZO, E., MARCO, J., BALDASSARRI, S., "Hybrid Games: Designing Tangible Interfaces for Very Young Children and Children with Special Needs". In: NIJHOLT, A. (Org.), **More Playful User Interfaces: Interfaces that Invite Social and Physical Interaction**, Singapore, Springer Singapore, 2015. p. 17–48. DOI: 10.1007/978-981-287-546-4\_2. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-981-287-546-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-287-546-4_2).

CHEN, J., WANG, G., ZHANG, K., *et al.* "A pilot study on evaluating children with autism spectrum disorder using computer games", **Computers in Human Behavior**, v. 90, p. 204–214, 1 jan. 2019. DOI: 10.1016/j.chb.2018.08.057.

CHU, J. H., CLIFTON, P., HARLEY, D., *et al.* "Mapping Place: Supporting Cultural Learning Through a Lukasa-inspired Tangible Tabletop Museum Exhibit". 2015. event-place: Stanford, California, USA. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2015. p. 261–268. DOI: 10.1145/2677199.2680559. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2677199.2680559>.

CIMADEVILA, M., COUTINHO, K., PREUSS, E., *et al.* "Tangible Interaction and Teacher Education: Creating Resources for Students with Different Communication Processes". 2161–377X, jul. 2019. **Anais [...]** [S.l.: s.n.], jul. 2019. p. 314–317. DOI: 10.1109/ICALT.2019.00093.

CIMADEVILA, M. P. R. **Cenas de Atenção Conjunta na Análise de Processo de Formação de Conceito Científico com Mesa Tangível em Contexto Inclusivo : um Estudo no Ensino de Ciências.** 2021. 235 f. Tese (Doutorado em Informática na Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/222089>. Acesso em: 12 ago. 2021.

COMUNIDADE APRENDER CRIANÇA (Org.). **Cartilha da Inclusão Escolar: inclusão baseada em evidências científicas.** [S.l.], Ed. Instituto Glia, 2014. Disponível em: <https://institutoglia.com.br/wp-content/uploads/2018/11/Cartilha-da-Inclusao-Escolar-para-sites.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2020.

COSTA, D. A. F. "Superando limites: a contribuição de Vygotsky para a educação especial", **Revista Psicopedagogia**, v. 23, p. 232–240, 2006.

CRAWFORD, S. **How Microsoft Surface Tabletop Works.** 5 jul. 2011. HowStuffWorks - Learn How Everything Works! Disponível em: <https://computer.howstuffworks.com/microsoft-surface.htm>. Acesso em: 1 fev. 2020.

DALSGAARD, P., HALSKOV, K. "Tangible 3D Tabletops: Combining Tangible Tabletop Interaction and 3D Projection". 2012. event-place: Copenhagen, Denmark. **Anais [...]** New

York, NY, USA, ACM, 2012. p. 109–118. DOI: 10.1145/2399016.2399033. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2399016.2399033>.

DANG, C. T., ANDRÉ, E. "TabletopCars: Interaction with Active Tangible Remote Controlled Cars". 2013. event-place: Barcelona, Spain. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2013. p. 33–40. DOI: 10.1145/2460625.2460630. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2460625.2460630>.

DANIELS, H. **Vygotsky e a Pedagogia**. Tradução: Milton Camargo Mota. São Paulo, Loyola, 2003.

DAVIDOV, V. **La enseñanza escolar y el desarrollo psíquico: investigación psicológica teórica experimental**. Moscow, Progreso, 1988. (Biblioteca de psicología soviética).

**Declaração de Salamanca: Sobre Princípios, Políticas e Práticas na Área das Necessidades Educativas Especiais**. [S.l: s.n.]. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/salamanca.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2020. , 1994

DELONG, S., ARIF, A. S., MAZALEK, A. "Design and Evaluation of Graphical Feedback on Tangible Interactions in a Low-resolution Edge Display". 2019. event-place: Palermo, Italy. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2019. p. 8:1-8:7. DOI: 10.1145/3321335.3324954. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/3321335.3324954>.

DHILLON, B., GOULATI, A., POLITIS, I., *et al.* **A set of customizable games supporting therapy of children with cerebral palsy**. [S.l: s.n.], 2011. v. 6949 LNCS. (Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)).

DILLENBOURG, P., EVANS, M. "Interactive tabletops in education", **International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning**, v. 6, n. 4, p. 491–514, 2011. DOI: 10.1007/s11412-011-9127-7.

DIVERSA. **Educação inclusiva**. [S.d.]. DIVERSA - Educação inclusiva na prática. Disponível em: <https://www.diversa.org.br/educacao-inclusiva/>. Acesso em: 7 jan. 2020.

DOURADO, A. M. B., BOTEAGA, L. C., ARAÚJO, R. B. "TTUI-SM: A New Specification Model for Tabletop Tangible User Interfaces". maio 2014. **Anais [...]** [S.l: s.n.], maio 2014. p. 238–245. DOI: 10.1109/SVR.2014.30.

DUCASSE, J., MACÉ, M. J.-M., SERRANO, M., *et al.* "Tangible Reels: Construction and Exploration of Tangible Maps by Visually Impaired Users". 2016. event-place: San Jose, California, USA. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2016. p. 2186–2197. DOI: 10.1145/2858036.2858058. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2858036.2858058>.

**Eduba Editor**. 2020. Eduba Editor. Disponível em: <https://nidaba.online>.

EISENBERG, M., EISENBERG, A., HENDRIX, S., *et al.* "As We May Print: New Directions in Output Devices and Computational Crafts for Children". 2003. event-place: Preston, England. **Anais [...]** New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, 2003. p. 31–39. DOI: 10.1145/953536.953543. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/953536.953543>.

FALCÃO, T. P. "Feedback and Guidance to Support Children with Intellectual Disabilities in Discovery Learning with a Tangible Interactive Tabletop", **ACM Trans. Access. Comput.**, v. 11, n. 3, p. 16:1-16:28, set. 2018. DOI: 10.1145/3226114.

FALCAO, T. P., PRICE, S. "Interfering and resolving: How tabletop interaction facilitates co-construction of argumentative knowledge", **INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER-SUPPORTED COLLABORATIVE LEARNING**, v. 6, n. 4, p. 539–559, dez. 2011. DOI: 10.1007/s11412-010-9101-9.

FALCÃO, T. P., PRICE, S. "What Have You Done! The Role of “Interference” in Tangible Environments for Supporting Collaborative Learning". 2009. **Anais [...]** [S.l.], International Society of the Learning Sciences, 2009. p. 325–334. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1600053.1600103>.

FAN, M., ANTLE, A. N., NEUSTAEDTER, C., *et al.* "Exploring How a Co-dependent Tangible Tool Design Supports Collaboration in a Tabletop Activity". 2014. event-place: Sanibel Island, Florida, USA. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2014. p. 81–90. DOI: 10.1145/2660398.2660402. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2660398.2660402>.

FISHKIN, K. P. "A Taxonomy for and Analysis of Tangible Interfaces", **Personal Ubiquitous Comput.**, v. 8, n. 5, p. 347–358, set. 2004. DOI: 10.1007/s00779-004-0297-4.

FRAUENBERGER, C. "Rethinking autism and technology", **Interactions**, v. 22, n. 2, p. 57–59, 2015. DOI: 10.1145/2728604.

FRY, B., REAS, C. **Processing.org**. 2001. Processing. Acesso em: 4 fev. 2020.

GALLARDO, D., JULIÀ, C. F., JORDÀ, S. "Using MTCF for Live Prototyping on Tablet and Tangible Tabletop Devices". 2013. event-place: Barcelona, Spain. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2013. p. 443–446. DOI: 10.1145/2460625.2460724. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2460625.2460724>.

GALVÃO FILHO, T. A., "A Tecnologia Assistiva: de que se trata?". In: MACHADO, G. J. C., SOBRAL, M. N. (Org.), **Conexões: educação, comunicação, inclusão e interculturalidade**, 1. ed. Porto Alegre, Redes Editora, 2009. p. 207–235.

GALVÃO FILHO, T. A. **Ambientes computacionais e telemáticos no desenvolvimento de projetos pedagógicos com alunos com paralisia cerebral**. 2004. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA., 2004.

GALVÃO FILHO, T. A., "Deficiência intelectual e tecnologias no contexto da escola inclusiva". In: GOMES, C. (Org.), **Discriminação e racismo nas Américas: um problema de justiça, equidade e direitos humanos**, Curitiba, CRV, 2016. p. 305–321.

GIANG, C., PIATTI, A., MONDADA, F. "Heuristics for the Development and Evaluation of Educational Robotics Systems", **IEEE Transactions on Education**, p. 1–10, 2019. DOI: 10.1109/TE.2019.2912351.

GLUZ, J., PASSERINO, L., PREUSS, E., *et al.* "Ambiente Virtual Tangível para Integração Sensorial no Ensino de Ciências numa Perspectiva Inclusiva". 29, 2018. **Anais** [...] Fortaleza, CE, Brasil., Sociedade Brasileira de Computação, 2018. p. 545. DOI: 10.5753/cbie.sbie.2018.545. Disponível em: <https://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/8011>.

HALSKOV, K., DALSGAARD, P., STOLZE, L. B. "Analysing Engaging Experiences with a Tangible 3D Tabletop". 2014. event-place: Funchal, Portugal. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2014. p. 29:1-29:10. DOI: 10.1145/2663806.2663831. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2663806.2663831>.

HAN, J. Y. "Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection". 2005. event-place: Seattle, WA, USA. **Anais** [...] New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, 2005. p. 115–118. DOI: 10.1145/1095034.1095054. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1095034.1095054>.

HANSEN, N. B., HALSKOV, K. "Material Interactions with Tangible Tabletops: A Pragmatist Perspective". 2014. event-place: Helsinki, Finland. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2014. p. 441–450. DOI: 10.1145/2639189.2639200. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2639189.2639200>.

HINCAPIÉ-RAMOS, J. D., TABARD, A., BARDRAM, J. E. "Mediated Tabletop Interaction in the Biology Lab: Exploring the Design Space of the Rabbit". 2011. event-place: Beijing, China. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2011. p. 301–310. DOI: 10.1145/2030112.2030153. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2030112.2030153>.

HODAIE, Z., HALADJIAN, J., BRÜGGE, B. "ISAR: An Authoring System for Interactive Tabletops". 2019. event-place: Daejeon, Republic of Korea. **Anais** [...] New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, 2019. p. 355–360. DOI: 10.1145/3343055.3360751. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3343055.3360751>.

HORNECKER, E. "Graspable Interfaces as Tool for Cooperative Modelling". 24, 2001. **Anais** [...] Bergen, University of Bergen, 2001. p. 215–228.

HORNECKER, Eva, BUUR, J. "Getting a Grip on Tangible Interaction: A Framework on Physical Space and Social Interaction". 2006. event-place: Montréal, Québec, Canada. **Anais** [...] New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, 2006. p. 437–446. DOI: 10.1145/1124772.1124838. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1124772.1124838>.

INEP/MEC. **Glossário da Educação Especial: Censo Escolar 2019**. Brasília, INEP/MEC, 2019. Disponível em: [http://download.inep.gov.br/educacao\\_basica/educacenso/situacao\\_aluno/documentos/2019/glossario\\_da\\_educacao\\_especial\\_censo\\_escolar\\_2019.pdf](http://download.inep.gov.br/educacao_basica/educacenso/situacao_aluno/documentos/2019/glossario_da_educacao_especial_censo_escolar_2019.pdf).

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Sinopse Estatística da Educação Básica 2020**. [S.l.], Inep. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/sinopses-estatisticas/educacao-basica>. Acesso em: 7 jun. 2021. , 2021

JONES, C. E., MAQUIL, V. **Towards geospatial tangible user interfaces: An observational user study exploring geospatial interactions of the novice**. [S.l.: s.n.], 2016. v. 582. (Advances in Intelligent Systems and Computing).

JORDÀ, S., GEIGER, G., ALONSO, M., *et al.* "The ReactTable: Exploring the Synergy between Live Music Performance and Tabletop Tangible Interfaces". 2007. event-place: Baton Rouge, Louisiana. **Anais** [...] New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, 2007. p. 139–146. DOI: 10.1145/1226969.1226998. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1226969.1226998>.

JORDÀ, S., KALTENBRUNNER, M., GEIGER, G., *et al.* "The reactTable: A Tangible Tabletop Musical Instrument and Collaborative Workbench". 2006. event-place: Boston, Massachusetts. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2006. DOI: 10.1145/1179849.1179963. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1179849.1179963>.

JUNG, J., KIM, L., PARK, S., *et al.* **E-CORE (Embodied COgnitive REhabilitation): A cognitive rehabilitation system using tangible tabletop interface**. [S.l.: s.n.], 2013. v. 1. (Biosystems and Biorobotics).

KALTENBRUNNER, M. "reactIVision and TUIO: A Tangible Tabletop Toolkit". 2009. event-place: Banff, Alberta, Canada. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2009. p. 9–16. DOI: 10.1145/1731903.1731906. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1731903.1731906>.

KIRK, D., SELLEN, A., TAYLOR, S., *et al.* "Putting the Physical into the Digital: Issues in Designing Hybrid Interactive Surfaces". 2009. event-place: Cambridge, United Kingdom. **Anais** [...] Swindon, GBR, BCS Learning & Development Ltd., 2009. p. 35–44.

KLOKMOSE, C. N., KRISTENSEN, J. B., BAGGE, R., *et al.* "BullsEye: High-Precision Fiducial Tracking for Table-based Tangible Interaction". 2014. event-place: Dresden, Germany. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2014. p. 269–278. DOI: 10.1145/2669485.2669503. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2669485.2669503>.

KOROZI, M., LEONIDIS, A., NTOA, S., *et al.* "Designing an augmented tabletop game for children with cognitive disabilities: The “Home game” case", **British Journal of Educational Technology**, v. 49, n. 4, p. 701–716, 1 jul. 2018. DOI: 10.1111/bjet.12641.

KRIWACZEK, P. **Babilônia: a Mesopotâmia e o nascimento da civilização**. Tradução: Vera Ribeiro, Marlene Suano. Rio de Janeiro, Zahar, 2018.

KUBICKI, S., PASCO, D., HOAREAU, C., *et al.* "Using a Tangible Interactive Tabletop to Learn at School: Empirical Studies in the Wild". 2016. event-place: Fribourg, Switzerland. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2016. p. 155–166. DOI: 10.1145/3004107.3004120. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/3004107.3004120>.

KUMPF, A. **Trackmate: Large-Scale Accessibility of Tangible User Interfaces**. 2009. 99 f. Master of Science Thesis – Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 2009. Disponível em: <https://dam-prod.media.mit.edu/x/files/thesis/2009/kumpf-ms.pdf>.

KUNZ, A., ALAVI, A., LANDGREN, J., *et al.* "Tangible Tabletops for Emergency Response: An Exploratory Study". 2013. event-place: Warsaw, Poland. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2013. p. 10:1-10:8. DOI: 10.1145/2500342.2500352. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2500342.2500352>.



LEITNER, M., TOMITSCH, M., KÖLTRINGER, T., *et al.* "Designing tangible tabletop interfaces for patients in rehabilitation". In: **CEUR Workshop Proceedings**, 415, 2008. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2008.

LI, Y., FONTIJN, W., MARKOPOULOS, P. **A tangible tabletop game supporting therapy of children with cerebral palsy**. [S.l: s.n.], 2008. v. 5294 LNCS. (Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)).

LIGHT, R. "Mosquitto: server and client implementation of the MQTT protocol", **Journal of Open Source Software**, v. 2, n. 13, p. 265, 2017. DOI: 10.21105/joss.00265.

LIMA, R. P. **Promoção do Interesse em Criança com Autismo a partir de uma Plataforma Educacional Assistiva com Fantoche Eletrônico**. 2018. Tese (Doutorado em Informática na Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2018.

LIMA, R. P., PASSERINO, L. M., HENRIQUES, R. V. B., *et al.* "Asistranto: An Assistive Educational Platform for Promotion of Interest in Autistic Children", **Procedia Computer Science**, v. 160, p. 385–393, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.076>.

LIMBU, B., MAQUIL, V., RAS, E., *et al.* "Tomb of Osiris: Gamifying the Assessment of Collaborative Complex Problem Solving Skills on Tangible Tabletops". 571, 2015. **Anais [...]** [S.l.], MapleSoft; Teelen Kennismanagement; European Assoc Technol Enhanced Learning; Open Univ Netherlands, Welten Inst Res Ctr Learning, Teaching & Technol; SURFnet; Luxembourg Inst Sci & Technol, 2015. p. 61–68. DOI: 10.1007/978-3-319-27704-2\_7.

**LusidOSC Download**. [S.d.]. SourceForge. Disponível em: <https://sourceforge.net/projects/lusidosc/>. Acesso em: 7 fev. 2020.

MALIZIA, A., TURCHI, T., OLSEN, K. A. "Block-oriented programming with tangibles: An engaging way to learn computational thinking skills". out. 2017. **Anais [...]** [S.l: s.n.], out. 2017. p. 61–64. DOI: 10.1109/BLOCKS.2017.8120413.

MANSHAEI, R., BAIG, N., DELONG, S., *et al.* "Tangible mtDNA: A Tangible Tabletop System for Exploring Genetic Mutations on Mitochondrial DNA Cancer Data". 2017. event-place: Yokohama, Japan. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2017. p. 101–110. DOI: 10.1145/3024969.3025005. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/3024969.3025005>.

MANZINI, E. J., "Tecnologia assistiva para educação: recursos pedagógicos adaptados". **Ensaaios pedagógicos: construindo escolas inclusivas**, Brasília, SEESP/MEC, 2005. p. 82–86.

MAQUIL, V., TOBIAS, E., ANASTASIOU, D., *et al.* "COPSE: Rapidly Instantiating Problem Solving Activities Based on Tangible Tabletop Interfaces", **Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.**, v. 1, n. EICS, p. 6:1-6:16, jun. 2017. DOI: 10.1145/3095808.

MAQUIL, V., TOBIAS, E., GREIFF, S., *et al.* **Assessment of Collaborative Problem Solving Using Linear Equations on a Tangible Tabletop**. [S.l: s.n.], 2014. v. 439. (Communications in Computer and Information Science).

MAQUIL, V., TOBIAS, E., LATOUR, T. "Tangible Voting: A Technique for Interacting with Group Choices on a Tangible Tabletop". 9299, 2015. **Anais [...]** [S.l.], Int Federat Informat Proc Tech Comm 13; Univ Bamberg; Microsoft Res; Oxford Univ Press; SAP; Noldus, 2015. p. 79–86. DOI: 10.1007/978-3-319-22723-8\_7.

MARCO, J., BALDASSARRI, S., CERREZO, E., *et al.* "Let the experts talk: An experience of tangible game design with children", **Interactions**, v. 17, n. 1, p. 58–61, 2010. DOI: 10.1145/1649475.1649490.

MARCO, J., BALDASSARRI, S., CERREZO, E. "NIKVision: Developing a Tangible Application for and with Children.", **J. UCS**, v. 19, n. 15, p. 2266–2291, 2013.

MARCO, J., CERREZO, E., BALDASSARRI, S. "Lowering the threshold and raising the ceiling of tangible expressiveness in hybrid board-games", **Multimedia Tools and Applications**, v. 75, n. 1, p. 425–463, 2016. DOI: 10.1007/s11042-014-2298-2.

MARCO, J., CERREZO, E., BALDASSARRI, S. "ToyVision: A toolkit for prototyping tabletop tangible games". In: **EICS'12 - Proceedings of the 2012 ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems**, 2012. **Anais [...]** [S.l.: s.n.], 2012. p. 71–80. DOI: 10.1145/2305484.2305498.

MARTINS, O. B., MOSER, A. "Conceito de mediação em Vygotsky, Leontiev e Wertsch", **Revista Intersaberes**, v. 7, n. 13, p. 8–28, jun. 2012.

MARTÍN-SANJOSÉ, J.-F., JUAN, M.-C., GIL-GÓMEZ, J.-A., *et al.* "Flexible learning itinerary vs. linear learning itinerary", **Science of Computer Programming**, v. 88, p. 3–21, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scico.2013.12.009>.

MAZALEK, A., REYNOLDS, M., DAVENPORT, G. "TVViews: An Extensible Architecture for Multiuser Digital Media Tables", **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 26, n. 5, p. 47–55, set. 2006. DOI: 10.1109/MCG.2006.117.

MCADAM, C., BREWSTER, S. "Multimodal Feedback for Tabletop Interactions". 2011. event-place: Kobe, Japan. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2011. p. 274–275. DOI: 10.1145/2076354.2076412. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2076354.2076412>.

MCAULEY, E., DUNCAN, T., TAMMEN, V. V. "Psychometric Properties of the Intrinsic Motivation Inventory in a Competitive Sport Setting: A Confirmatory Factor Analysis", **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 60, n. 1, p. 48–58, 1 mar. 1989. DOI: 10.1080/02701367.1989.10607413.

MCCRINDLE, C., HORNECKER, E., LINGNAU, A., *et al.* "The Design of T-vote: A Tangible Tabletop Application Supporting Children's Decision Making". 2011. event-place: Ann Arbor, Michigan. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2011. p. 181–184. DOI: 10.1145/1999030.1999056. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1999030.1999056>.

MI, H., KRZYWINSKI, A., FUJITA, T., *et al.* "RoboTable: An Infrastructure for Intuitive Interaction with Mobile Robots in a Mixed-Reality Environment", **Adv. Human-Computer Interaction**, v. 2012, p. 301608:1-301608:10, 2012.

**Microsoft Announces Surface Computer.** 30 maio 2007. TechCrunch. Disponível em: <https://techcrunch.com/2007/05/29/microsoft-announces-surface-computer/>. Acesso em: 1 fev. 2020.

NIELSEN, J., "Heuristic evaluation". In: NIELSEN, J., MACK, R. L. (Org.), **Usability Inspection Methods**, New York, NY, John Wiley & Sons, 1994.

NULL, R. **Universal Design: Principles and Models**. Boca Raton, FL, CRC Press, 2014.

O'MALLEY, C., FRASER, D. S. **Literature Review in Learning with Tangible Technologies**. , Futurelab Series., nº 12. Bristol, UK, [s.n.], 2004. Disponível em: <https://www.nfer.ac.uk/media/1832/futl69.pdf>.

OPPL, S., STARY, C. "Facilitating shared understanding of work situations using a tangible tabletop interface", **BEHAVIOUR & INFORMATION TECHNOLOGY**, v. 33, n. 6, p. 619–635, 3 jun. 2014. DOI: 10.1080/0144929X.2013.833293.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **CID-10: Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde, 10ª rev.** 1993. Disponível em: <http://www.datasus.gov.br/cid10/V2008/cid10.htm>. Acesso em: 8 jan. 2020.

PASSERINO, L., COMA, T., BALDASSARRI, S. "Interacción tangible para la Compensación Social de procesos mediados en niños con diversidad funcional", **Educación**, v. 41, n. 3, p. 362–373, set. 2018. DOI: 10.15448/1981-2582.2018.3.31732.

PASSERINO, Liliana. "Apontamentos para uma reflexão sobre a função social das tecnologias no processo educativo", **Texto Digital**, v. 6, n. 1, p. 58–77, 2010. DOI: 10.5007/1807-9288.2010v6n1p58.

PASSERINO, Liliana, SANTAROSA, L. M. C. "A Interação Social em Ambientes Telemáticos", **Informática na Educação: Teoria e Prática**, v. 5, n. 2, nov. 2002.

PASSERINO, Liliana, SANTAROSA, L. M. C. "Possibilidades da mediação tecnológica na inclusão escolar de autistas", **Anais do Workshop de Informática na Escola**, v. 1, n. 1, 2006. DOI: 10.5753/cbie.wie.2006.%p. Disponível em: <https://www.br-ie.org/pub/index.php/wie/article/view/900>.

PASSERINO, Liliana, SANTAROSA, L. M. C. "Uma visão sócio-histórica da interação dentro de ambientes computacionais". In: : **V Congresso Ibero-Americano de Informática na Educação - RIBIE 2000**, 2000. **Anais [...]** Viña del Mar - Chile, [s.n.], 2000.

PEDERSEN, E. W., HORNBAEK, K. "Tangible Bots: Interaction with Active Tangibles in Tabletop Interfaces". 2011. event-place: Vancouver, BC, Canada. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2011. p. 2975–2984. DOI: 10.1145/1978942.1979384. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1978942.1979384>.

PERSSON, H., ÅHMAN, H., YNGLING, A., *et al.* "Universal design, inclusive design, accessible design, design for all: different concepts—one goal? On the concept of accessibility—historical, methodological and philosophical aspects", **Universal Access in the Information Society**, v. 14, 2014. DOI: 10.1007/s10209-014-0358-z.

PONTUAL FALCÃO, T., DACKERMANN, T., SCHÜLER, M., *et al.* "Tangible Tens: Evaluating a Training of Basic Numerical Competencies with an Interactive Tabletop". 2018. event-place: Montreal QC, Canada. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2018. p. 551:1-551:12. DOI: 10.1145/3173574.3174125. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/3173574.3174125>.

PREUSS, E., PASSERINO, L., BALDASSARRI, S., *et al.* "E-DUB-A: A Tangible Educational Resource Editor in Inclusive Classes". In: **19th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)**, 2161–377X, jul. 2019. **Anais [...]** Maceió - Brazil, [s.n.], jul. 2019. p. 303–307. DOI: 10.1109/ICALT.2019.00095.

PREUSS, Evandro, BARONE, D., HENRIQUES, R. "Uso de Técnicas de Inteligência Artificial num Sistema de Mesa Tangível". 2020. event-place: Evento Online. **Anais [...]** Natal, RN, Brasil, SBC, 2020. p. 439–448. DOI: 10.5753/cbie.wie.2020.439. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wie/article/view/12636>.

PREUSS, Evandro, VIEIRA, M., COUTINHO, K., *et al.* "Uso de Mesa Tangível na Educação Inclusiva". 2020. event-place: Online. **Anais [...]** Natal, RN, Brasil, SBC, 2020. p. 742–751. DOI: 10.5753/cbie.sbie.2020.742. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/12830>.

PRICE, S, ROGERS, Y., SCAIFE, M., *et al.* "Using 'tangibles' to promote novel forms of playful learning", **Interacting with Computers**, v. 15, n. 2, p. 169–185, 2003. DOI: 10.1016/S0953-5438(03)00006-7.

PRICE, Sara, FALCÃO, T. P. "Where the attention is: Discovery learning in novel tangible environments", **Interacting with Computers**, v. 23, n. 5, p. 499–512, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2011.06.003>.

**Reactable - Music Knowledge Technology**. [S.d.]. Disponível em: <http://reactable.com/>. Acesso em: 30 jan. 2020.

**reactIVision**. [S.d.]. reactIVision. Disponível em: <http://reactivision.sourceforge.net/>. Acesso em: 30 jan. 2020.

REGO, T. C. **Vygotsky: uma perspectiva histórico-cultural da educação**. 14. ed. Petrópolis, RJ, Editora Vozes, 2002.

RETAMAL, A. M., "FDD - Feature-Driven Development". In: PRIKLADNICKI, R., WILLI, R., MILANI, F. (Org.), **Métodos Ágeis para Desenvolvimento de Software**, Porto Alegre, Bookman, 2014. p. 66–101.

ROBINSON, S. J., MENDENHALL, S., NOVOSEL, V., *et al.* "Tangible Anchoring: Grasping News and Public Opinion". 2010. event-place: Taipei, Taiwan. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2010. p. 75–78. DOI: 10.1145/1971630.1971653. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1971630.1971653>.

RODRIGUES, F., SATO, F., BOTEGA, L., *et al.* "Integration Framework of Augmented Reality and Tangible Interfaces for Enhancing the User Interaction". maio 2012. **Anais [...]** [S.l.: s.n.], maio 2012. p. 100–107. DOI: 10.1109/SVR.2012.13.

ROH, Y., LEE, J., KIM, J.-I., *et al.* "Haptic u-Table: A believable feedback system with a quasi-tangible tabletop interface". In: **Proceedings - Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing in Conjunction with the UIC 2010 and ATC 2010 Conferences, UIC-ATC 2010**, 2010. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2010. p. 266–271. DOI: 10.1109/UIC-ATC.2010.21.

ROMERO-RAMIREZ, F. J., MUÑOZ-SALINAS, R., MEDINA-CARNICER, R. "Speeded up detection of squared fiducial markers", **Image and Vision Computing**, v. 76, p. 38–47, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2018.05.004>.

ROPOLI, E. A., MANTOAN, M. T. E., SANTOS, M. T. da C. T. dos, *et al.* **A educação especial na perspectiva da inclusão escolar: a escola comum inclusiva**. Brasília, Ministério da Educação e Cultura, 2010. v. 1. (A Educação Especial na Perspectiva da Inclusão Escolar).

SAMPATH, H., AGARWAL, R., INDURKHYA, B. "Assistive technology for children with autism - Lessons for interaction design". In: **ACM International Conference Proceeding Series**, 2013. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2013. p. 325–333. DOI: 10.1145/2525194.2525300.

SAMSUNG ELECTRONICS. **Samsung SUR40 for Microsoft® Surface®: User Manual**. [S.l: s.n.]. Disponível em: <http://downloadcenter.samsung.com/content/UM/201206/20120622172918410/BN46-00030A-Eng.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2020. , 2011

SCHNEIDER, B., BLIKSTEIN, P., MACKAY, W. "Combinatorix: A Tangible User Interface That Supports Collaborative Learning of Probabilities". 2012. event-place: Cambridge, Massachusetts, USA. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2012. p. 129–132. DOI: 10.1145/2396636.2396656. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2396636.2396656>.

SCHÖNING, J., BRANDL, P., DAIBER, F., *et al.* "Multi-Touch Surfaces: A Technical Guide Technical Report TUM-I0833", **Technical Report TUM-I0833, Technical Reports of the Technical University of Munich, (2008)**, 1 out. 2008.

SCHÖNING, J., HOOK, J., BARTINDALE, T., *et al.*, "Building Interactive Multi-touch Surfaces". In: MÜLLER-TOMFELDE, C. (Org.), **Tabletops - Horizontal Interactive Displays**, London, Springer London, 2010. p. 27–49. DOI: 10.1007/978-1-84996-113-4\_2. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-1-84996-113-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-84996-113-4_2).

SEESP/MEC, a. **Saberes e práticas da inclusão: recomendações para a construção de escolas inclusivas**. 2ª ed. Brasília, MEC, Secretaria de Educação Especial, 2006. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/const\\_escolasinclusivas.pdf](http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/const_escolasinclusivas.pdf).

SEESP/MEC B. **Saberes e práticas da inclusão: desenvolvendo competências para o atendimento às necessidades educacionais de alunos com deficiência física/neuro-motora**. 2ª ed. Brasília, MEC, 2006. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/alunosdeficienciafisica.pdf>.

SEESP/SEED/MEC. **Atendimento educacional especializado: deficiência mental**. Brasília, MEC, Secretaria de Educação Especial, 2007.

SHAER, O., HORNECKER, E. "Tangible User Interfaces: Past, present, and future directions", **Foundations and Trends in Human-Computer Interaction**, v. 3, n. 1–2, p. 1–137, 2009. DOI: 10.1561/1100000026.

SILVA, G. F. M., RAPOSO, A., SUPLINO, M. "PAR: A Collaborative Game for Multitouch Tabletop to Support Social Interaction of Users with Autism", **Procedia Computer Science**, v. 27, p. 84–93, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.02.011>.

SITDHISANGUAN, K., CHOTIKAKAMTHORN, N., DECHABOON, A., *et al.* "Using tangible user interfaces in computer-based training systems for low-functioning autistic children", **Personal and Ubiquitous Computing**, v. 16, n. 2, p. 143–155, 2012. DOI: 10.1007/s00779-011-0382-4.

SMITH, D. D. **Introdução à educação especial: ensinar em tempos de inclusão**. Tradução: Sandra Moreira De Carvalho. 5ª ed. São Paulo, Artmed, 2008.

STARCIC, A. I., ZAJC, M. "An interactive tangible user interface application for learning addition concepts", **British Journal of Educational Technology**, v. 42, n. 6, p. E131–E135, 2011. DOI: 10.1111/j.1467-8535.2011.01217.x.

STEPHANIDIS, C., "User Interfaces for All: New perspectives into Human-Computer Interaction". [S.l.], Lawrence Erlbaum Associates, 2001. p. 3–17.

STOCKMANN, R. **Livros Ilustrados Táteis e o Processo de Letramento de Crianças com Deficiência Visual**. 2019. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2019.

TANENBAUM, K., ANTLE, A. N. "Using Physical Constraints to Augment Concept Mapping on a Tangible Tabletop". 2008. **Anais [...]** [S.l.], Int Assoc Engineers, 2008. p. 539–547.

TARUN, A. P., ARIF, A. S., BELLUCCI, A., *et al.* "Responsive Objects , Surfaces and Spaces (ROSS): Framework for Simplifying Cross-Device Communication". 2015. **Anais [...]** [S.l.: s.n.], 2015.

THARP, R. G., "Institutional and social context of educational practice and reform". In: FORMAN, E. A., MINICK, N., STONE, C. A. (Org.), **Contexts for Learning: Sociocultural Dynamics in Children's Development**, Oxford, Oxford University Press, 1993.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 18. ed. [S.l.], Cortez, 2018.

TOBIAS, E., MAQUIL, V., LATOUR, T. "TULIP: A Widget-based Software Framework for Tangible Tabletop Interfaces". 2015. event-place: Duisburg, Germany. **Anais [...]** New York, NY, USA, ACM, 2015. p. 216–221. DOI: 10.1145/2774225.2775080. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2774225.2775080>.

**Touchscreen Object Recognition by MultiTaction**. [S.d.]. MultiTaction. Disponível em: <https://www.multitaction.com/products/object-recognition/>. Acesso em: 28 dez. 2020.

**Trackmate Download**. [S.d.]. SourceForge. Disponível em: <https://sourceforge.net/projects/trackmate/>. Acesso em: 7 fev. 2020.

ULLMER, B., ISHII, H. "Emerging frameworks for tangible user interfaces", **IBM Systems Journal**, v. 39, n. 3–4, p. 915–930, 2000.

ULLMER, Brygg, ISHII, H. "metaDESK: Models and prototypes for tangible user interfaces". In: **UIST (User Interface Software and Technology): Proceedings of the ACM Symposium**, 1997. **Anais** [...] [S.l.: s.n.], 1997. p. 223–232. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0030658205&partnerID=40&md5=547c1bb0e53861ed4bea6f6052557b62>.

VEER, R. van der, VALSINER, J. **Vygotsky: uma síntese**. 3. ed. São Paulo, Loyola, 1999.

VIEIRA, Martha Barcellos. **Alegria e frustração: um estudo sobre os estados afetivos em crianças com TEA na mediação com interfaces tangíveis**. 2018. Tese (Doutorado em Informática na Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2018.

VYGOTSKY, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. São Paulo, Martins Fontes, 2001.

VYGOTSKY, L. S. "A defectologia e o estudo do desenvolvimento e da educação da criança anormal", **Educação e Pesquisa**, v. 37, p. 863–869, dez. 2011.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 7ª ed. São Paulo, Martins Fontes, 2015.

VYGOTSKY, L. S. **Obras Escogidas V: Fundamentos de defectología**. 1. ed. [S.l.], Antonio Machado, 2012.

WARSCHAUER, M. **Tecnologia e inclusão social: a exclusão digital em debate**. São Paulo, Editora Senac São Paulo, 2006.

WERTSCH, J. V. **The Cambridge Companion to Vygotsky**. 1. ed. New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2007.

XIE, L., ANTLE, A. N., MOTAMEDI, N. "Are Tangibles More Fun? Comparing Children's Enjoyment and Engagement Using Physical, Graphical and Tangible User Interfaces". 2008. event-place: Bonn, Germany. **Anais** [...] New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, 2008. p. 191–198. DOI: 10.1145/1347390.1347433. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1347390.1347433>.

YU, N.-H., CHAN, L.-W., CHENG, L.-P., *et al.* "Enabling Tangible Interaction on Capacitive Touch Panels". 2010. event-place: New York, New York, USA. **Anais** [...] New York, NY, USA, ACM, 2010. p. 457–458. DOI: 10.1145/1866218.1866269. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1866218.1866269>.

## APÊNDICES



## Apêndice A – Revisão bibliográfica sobre mesa tangível

Quadro 7 – Busca na ACM

ACM – “tangible tabletop”		
Autores	Título	Tecnologia/Assunto
(DELONG, ARIF, <i>et al.</i> , 2019)	Design and Evaluation of Graphical Feedback on Tangible Interactions in a Low-Resolution Edge Display	Objetos ativos com LEDs, Feedback ativo. Mesa MultiTaction
(PONTUAL FALCÃO, DACKERMANN, <i>et al.</i> , 2018)	Tangible Tens: Evaluating a Training of Basic Numerical Competencies with an Interactive Tabletop	Samsung SUR40, Marcadores fiduciais ArUco
(FALCÃO, 2018)	Feedback and Guidance to Support Children with Intellectual Disabilities in Discovery Learning with a Tangible Interactive Tabletop	TUI para deficiência intelectual, Feedback, LigthTable
(BALDASSARRI, PASSERINO, <i>et al.</i> , 2018)	Videogame-based case studies for improving communication and attention in children with ASD	TUIs com crianças com TEA Tabletop NIKVision
(MAQUIL, TOBIAS, <i>et al.</i> , 2017)	COPSE: Rapidly Instantiating Problem Solving Activities based on Tangible Tabletop Interfaces	Framework para criação de aplicações, XML, TULIP,
(MANSHAEI, BAIG, <i>et al.</i> , 2017)	Tangible mtDNA: A Tangible Tabletop System for Exploring Genetic Mutations on Mitochondrial DNA Cancer Data	Objetos ativos com smartwatch e Wi-Fi, Mesa MultiTaction
(BALDASSARRI, CERZO, <i>et al.</i> , 2017)	Immertable: A configurable and customizable tangible tabletop for audiovisual and musical control	Mesa tangível para DJ, Objetos ativos, Kinect, Leap Motion, reactIVision
(KUBICKI, PASCO, <i>et al.</i> , 2016)	Using a Tangible Interactive Tabletop to Learn at School: Empirical Studies in the Wild	Uso educacional, Mesa TangiSense 2, RFID e display LCD
(DUCASSE, MACÉ, <i>et al.</i> , 2016)	Tangible Reels: Construction and Exploration of Tangible Maps by Visually Impaired Users	TUI para deficiência visual, Mesa multitoque, TUIO, fiduciais
(BONILLO, CERZO, BALDASSARRI, <i>et al.</i> , 2016)	Tangible Activities for Children with Developmental Disorders	TUI e Crianças com deficiência. NikVision. KitVision.
(ANDALAM, ARUNTHAVASOTHY, <i>et al.</i> , 2016)	Surface Air Hockey: A Step Towards Smart Tangibles	Objetos ativos smart, jogo, Samsung SUR40, PixelSense SDK, C#
(ANASTASIOU, MAQUIL, <i>et al.</i> , 2016)	Design Implications for a User Study on a Tangible Tabletop	Taxonomia de gestos em TUIs
(TOBIAS, MAQUIL, <i>et al.</i> , 2015)	TULIP: A Widget-based Software Framework for Tangible Tabletop Interfaces	Framework para TUI, MCRit reactIVision
(CHU, CLIFTON, <i>et al.</i> , 2015)	Mapping Place: Supporting Cultural Learning Through a Lukasa-inspired Tangible Tabletop Museum Exhibit	TUI em museu, CCV, reactIVision, PlayStatio Eye, Unity3D, Flash
(BLAGOJEVIC, WHITELEY, <i>et al.</i> , 2015)	TUI-Geometry: A Tangible User Interface for Geometric Drawing on an Interactive Tabletop	Desenho geométrico Samsung SUR40, Pixel
(KLOKMOSE, KRISTENSEN, <i>et al.</i> , 2014)	BullsEye: High-Precision Fiducial Tracking for Table-based Tangible Interaction	Visão computacional, rastreamento de objetos, BullsEye
(HANSEN, HALSKOV, 2014)	Material Interactions with Tangible Tabletops: A Pragmatist Perspective	Conceitos de TUI, Mesa tangível IR DI e software próprio

continua...

Quadro 7 – Busca na ACM - continuação

<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Tecnologia / Assunto</b>
(HALSKOV, <i>et al.</i> , 2014)	Analysing Engaging Experiences with a Tangible 3D Tabletop	Projeção 3D, BullsEye
(FAN, ANTLE, <i>et al.</i> , 2014)	Exploring How a Co-dependent Tangible Tool Design Supports Collaboration in a Tabletop Activity	Trabalho colaborativo com TUIs. Microsoft PixelSense.
(CABALLERO, WEN, <i>et al.</i> , 2014)	Single Locus of Control in a Tangible Paper-based Tabletop Application: An Exploratory Study	Controle central de atividades colaborativas em TUI
(ANTLE, WARREN, <i>et al.</i> , 2014)	Emergent Dialogue: Eliciting Values during Children's Collaboration with a Tabletop Game for Change	Mudança de comportamento em crianças a partir de jogos. Microsoft PixelSense.
(KUNZ, ALAVI, <i>et al.</i> , 2013)	Tangible Tabletops for Emergency Response: An Exploratory Study	TUI com interação em mapas. InfrActables e MightyTrace
(GALLARDO, JULIÀ, <i>et al.</i> , 2013)	Using MTCF for Live Prototyping on Tablet and Tangible Tabletop Devices	Ambiente de desenvolvimento de TUI. Reactable, reacTIVision, MTCF
(DANG, ANDRÉ, 2013)	TabletopCars: Interaction with Active Tangible Remote Controlled Cars	Jogo. Objetos tangíveis ativos Microsoft Surface
(SCHNEIDER, BLIKSTEIN, <i>et al.</i> , 2012)	Combinatorix: Tangible User Interface that Supports Collaborative Learning of Probabilities	reacTIVision, Java, wiimote, canetas IR
(DALSGAARD, HALSKOV, 2012)	Tangible 3D Tabletops: Combining Tangible Tabletop Interaction and 3D Projection	Projeção 3D nos objetos tangíveis. reacTIVision, Unity
(BARTINDALE, SHEIKH, <i>et al.</i> , 2012)	StoryCrate: Tabletop Storyboarding for Live Film Production	TUI para edição de filmes. reacTIVision, Microsoft .NET
(PEDERSEN, HORNBAEK, 2011)	Tangible Bots: Interaction with Active Tangibles in Tabletop Interfaces	Objetos tangíveis ativos robotizados. Mesa IR DSI, reacTIVision, CCV, XBee
(MCCRINDLE, HORNECKER, <i>et al.</i> , 2011)	The Design of T-vote: A Tangible Tabletop Application Supporting Children's Decision Making	Design de um Sistema de tomada de decisão com TUI
(HINCAPIÉ-RAMOS, TABARD, <i>et al.</i> , 2011)	Mediated Tabletop Interaction in the Biology Lab: Exploring the Design Space of the Rabbit	Interação mediada por dispositivo RFID. IR DI, C#, Microsoft Surface, OpenCV
(ALAVI, KUNZ, <i>et al.</i> , 2011)	Dual Mode IR Position and State Transfer for Tangible Tabletops	Rastreamento de objetos ativos. IR
(YU, CHAN, <i>et al.</i> , 2010)	Enabling Tangible Interaction on Capacitive Touch Panels	Etiqueta geométricas e de frequência para uso em <i>touchscreen</i> capacitivo
(ROBINSON, MENDENHALL, <i>et al.</i> , 2010)	Tangible Anchoring: Grasping News and Public Opinion	KinoPuzzle, mesa tangível IR DI, reacTIVision, ROSS.
(KALTENBRUNNER, 2009)	reacTIVision and TUIO: A Tangible Tabletop Toolkit	Rastreamento de objetos tangíveis (tecnologia para TUI)
(BARTINDALE, HOOK, <i>et al.</i> , 2009)	Media Crate: Tangible Live Media Production Interface	TUI para edição de filmes. reacTIVision,
(FALCÃO, PRICE, 2009)	What Have You Done! The Role of 'Interference' in Tangible Environments for Supporting Collaborative Learning	Aprendizagem colaborativa, reacTIVision, Processing.
(BARALDI, DEL BIMBO, <i>et al.</i> , 2007)	Introducing Tangerine: A Tangible Interactive Natural Environment	Objetos ativos inteligentes Bluetooth
(JORDÀ, KALTENBRUNNER, <i>et al.</i> , 2006)	The reacTable: A Tangible Tabletop Musical Instrument and Collaborative Workbench	TUI para música (trabalho relacionado)

Fonte: do autor

Quadro 8 – Busca na Scopus

<b>Scopus – “tangible tabletop”</b>		
<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Tecnologia / Assunto</b>
(BONILLO, BALDASSARRI, <i>et al.</i> , 2019)	Tackling developmental delays with therapeutic activities based on tangible tabletops	Atividades terapêuticas para crianças com atraso no desenvolvimento. NIKVision.
(BOUABID, LEPREUX, <i>et al.</i> , 2017)	Design and evaluation of distributed user interfaces between tangible tabletops	Atividades colaborativas em mesas tangíveis distribuídas. RFID
(MARCO, CEREZO, <i>et al.</i> , 2016)	Lowering the threshold and raising the ceiling of tangible expressiveness in hybrid board-games	Framework para prototipagem e implementação de aplicações TUI. ReactIVision.
(JONES, MAQUIL, 2016)	Towards geospatial tangible user interfaces: An observational user study exploring geospatial interactions of the novice	Mesa tangível para aplicações geoespaciais.
(BOUABID, LEPREUX, <i>et al.</i> , 2016)	Distributed tabletops: Study involving two RFID tabletops with generic tangible objects	Mesas tangíveis distribuídas. RFID
(BONILLO, CEREZO, MARCO, <i>et al.</i> , 2016)	Designing therapeutic activities based on tangible interaction for children with developmental delay	Atividades para crianças com atraso no desenvolvimento. NIKVision
(BALDASSARRI, MARCO, <i>et al.</i> , 2016)	ImmertableApp: Interactive and tangible learning music environment	TUI para música. NIKVision, KitVision, reactIVision
(MAQUIL, TOBIAS, <i>et al.</i> , 2014)	Assessment of Collaborative Problem Solving Using Linear Equations on a Tangible Tabletop	Colaboração com TUI para resolução de problemas. Metodologia MicroDYN.
(ANASTASIOU, MAQUIL, <i>et al.</i> , 2014)	Gesture analysis in a case study with a tangible user interface for collaborative problem solving	Resolução de problemas colaborativos usando TUI. Usabilidade. TAM, SUS, UTAUT
(STARCIC, ZAJC, 2011)	An interactive tangible user interface application for learning addition concepts	Ensino de matemática. Trackmate, Processing
(DHILLON, GOULATI, <i>et al.</i> , 2011)	A set of customizable games supporting therapy of children with cerebral palsy	Jogos para crianças com paralisia cerebral. Mesa TagTiles, RFID.
(MARCO, BALDASSARRI, <i>et al.</i> , 2010)	Let the experts talk: An experience of tangible game design with children	Jogo e Mesa Tangível para crianças de 3 e 4 anos. NIKVision
(LI, FONTIJN, <i>et al.</i> , 2008)	A tangible tabletop game supporting therapy of children with cerebral palsy	Jogo para terapia de crianças com paralisia cerebral. ESP, sensores, LEDs.
(LEITNER, TOMITSCH, <i>et al.</i> , 2008)	Designing tangible tabletop interfaces for patients in rehabilitation	Aceitação de tecnologia de mesa tangível. Macromedia Director, ARToolKit

Fonte: do autor

Quadro 9 – Busca por na IEEE Xplore

<b>IEEE Xplore – “tangible tabletop” e “Mesa AND Tangível”</b>		
<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Tecnologia / Assunto</b>
(GIANG, PIATTI, <i>et al.</i> , 2019)	Heuristics for the Development and Evaluation of Educational Robotics Systems	Heurística para sistemas de robótica educacional
(MALIZIA, TURCHI, <i>et al.</i> , 2017)	Block-oriented programming with tangibles: An engaging way to learn computational thinking skills	TUI para desenvolver o pensamento computacional, Extensão do TUIO
(BOTTINO, MARTINA, <i>et al.</i> , 2015)	GAINÉ — tanGible augmented interaction for edutainment	Framework para TUI, DI, FTIR, C++, reacTIVision
(DOURADO, BOTEGA, <i>et al.</i> , 2014)	TTUI-SM: A New Specification Model for Tabletop Tangible User Interfaces	Especificação de modelo de TUI baseado em componentes
(RODRIGUES, SATO, <i>et al.</i> , 2012)	Integration Framework of Augmented Reality and Tangible Interfaces for Enhancing the User Interaction	Integração de TUI com Realidade Aumentada. Java, CCV, TUIO, ARToolKit.
(CATALA, JAEN, <i>et al.</i> , 2011)	AGORAS: Exploring creative learning on tangible user interfaces	Microsoft Surface, XNA, Microsoft Surface SDK.
(ROH, LEE, <i>et al.</i> , 2010)	Haptic u-Table: A believable feedback system with a quasi-tangible tabletop interface	Feedback háptico com vibração na mesa.
(MAZALEK, REYNOLDS, <i>et al.</i> , 2006)	TViews: An Extensible Architecture for Multiuser Digital Media Tables	Framwork para criação de aplicações específicas. Ultrassom e IR

Fonte: do autor

Quadro 10 – Busca na Web of Science

<b>Web of Science – “tangible tabletop”</b>		
<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Tecnologia / Assunto</b>
(MAQUIL, TOBIAS, <i>et al.</i> , 2015)	Tangible Voting: A Technique for Interacting with Group Choices on a Tangible Tabletop	Atividade colaborativa. Java, TULIP, reacTIVision e TUIO
(LIMBU, MAQUIL, <i>et al.</i> , 2015)	Tomb of Osiris: Gamifying the Assessment of Collaborative Complex Problem Solving Skills on Tangible Tabletops	Jogo colaborativo. MicroDYN. Java, TULIP
(OPPL, STARY, 2014)	Facilitating shared understanding of work situations using a tangible tabletop interface	Mapas mentais colaborativos. reacTIVision, Java, JHotDraw-framework
(FALCAO, PRICE, 2011)	Interfering and resolving: How tabletop interaction facilitates co-construction of argumentative knowledge	Aprendizagem colaborativa, reacTIVision, Processing.
(TANENBAUM, ANTLE, 2008)	Using Physical Constraints to Augment Concept Mapping on a Tangible Tabletop	Mapas mentais em TUI. EventTable, reacTIVision, Processing

Fonte: do autor

Quadro 11 – Busca na ScienceDirect

<b>ScienceDirect – “tangible tabletop” e “Mesa AND Tangível”</b>		
<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Tecnologia / Assunto</b>
(CEREZO, COMA, <i>et al.</i> , 2019)	Guidelines to design tangible tabletop activities for children with attention deficit hyperactivity disorder	Orientações para jogos para mesa tangível para crianças com TDAH
(SILVA, RAPOSO, <i>et al.</i> , 2014)	PAR: A Collaborative Game for Multitouch Tabletop to Support Social Interaction of Users with Autism	Jogo colaborativo – autismo, Mesa multitoque com TUIO, Adobe flash
(MARTÍN-SANJOSÉ, JUAN, <i>et al.</i> , 2014)	Flexible learning itinerary vs. linear learning itinerary	Jogo, roteiro flexível e linear, C#, XNA framework e Microsoft Kinect SDK
(PRICE, Sara, FALCÃO, 2011)	Where the attention is: Discovery learning in novel tangible environments	Engajamento e foco em ambientes baseados em TUI

Fonte: do autor

## APÊNDICE B – Questionários de Avaliação de Usabilidade

### Questionário SUS - *System Usability Scale*:

- Q1. Acho que gostaria de usar o editor com frequência
- Q2. Eu achei o editor muito complexo
- Q3. Eu acho que o editor tem sido fácil de usar
- Q4. Eu acho que precisaria de suporte técnico para usar o editor
- Q5. Eu vi que as diferentes funcionalidades do editor estão bem integradas
- Q6. Eu acho que há muita inconsistência no editor
- Q7. Eu acho que a maioria das pessoas aprenderá a usar o editor muito rápido
- Q8. Eu acho estranho a forma como usar o editor
- Q9. Enquanto usava o editor, senti-me confiante
- Q10. Eu tive que aprender muitas coisas para começar a usar o editor

### Outras questões sobre o editor:

- Q11. Eu acho que o editor seria útil no meu ambiente profissional
- Q12. Eu acho que posso ensinar os outros a usar o editor
- Q13. Você sentiu falta de alguma funcionalidade no editor que poderia ser útil em seu ambiente profissional? Descreva brevemente:
- Q14. Quais aspectos do editor você considera complexos ou difíceis de usar?

## APÊNDICE C – Questionários de Avaliação de Motivação

### Questionário IMI - *Intrinsic Motivation Inventory*:

1. Durante a atividade, pensava que estava apreciando muito
2. Eu não me senti nervoso(a) durante a atividade
3. A atividade não conseguiu manter minha atenção
4. Acho que me saí muito bem durante a atividade
5. Achei a atividade muito interessante
6. Eu me senti muito tenso(a) durante a atividade
7. A atividade foi muito divertida
8. Estou satisfeito com o meu desempenho na atividade
9. Durante a atividade, senti o tempo todo que estava no controle do que estava fazendo
10. Eu não fui capaz de fazer algumas das idéias que eu tinha para a atividade
11. Durante a atividade, eu estava pensando em outras coisas
12. Frequentemente me distraio com outras coisas não relacionadas à atividade
13. A atividade me envolveu completamente
14. A atividade foi intrinsecamente interessante
15. A atividade despertou minha curiosidade
16. Eu me senti tão imerso na atividade que perdi a noção do tempo
17. Saio com uma opinião muito positiva sobre a atividade
18. A atividade estimulou minha imaginação
19. Eu me senti ansioso(a) durante a atividade
20. Eu acho que essa atividade pode ser muito útil para o meu trabalho
21. Dediquei muito esforço para fazer essa atividade

### Outras questões sobre a atividade:

22. Fazer atividades com a mesa tangível pode ser útil para:
23. O que foi mais difícil para mim no desenvolvimento da atividade foi:
24. O que foi mais fácil para mim no desenvolvimento da atividade foi:
25. O que senti falta no desenvolvimento da atividade foi:

Comentários (opcional):

## APÊNDICE D – Funcionalidade Incluídas no Eduba Editor

### Versão 0.5 - Outubro de 2018

- Primeiro protótipo funcional do Editor baseado em cenas
- Em cada cena é possível definir:
  - áudio de fundo
  - vídeo de fundo
  - imagem ou cor de fundo
- Em cada cena é possível incluir
  - Textos
  - Imagens
  - Área de interação com definição dos fiduciais corretos e incorretos e respectivos áudios de feedback
  - Feedback com áudio e imagens
- As propriedades de cada elemento somente são exibidas quando o mesmo está selecionado.

### Versão 0.6 - Novembro de 2018

- Inclusão de vídeos nas cenas (vídeo de fundo ou vídeo na cena)
- Salvamento automático e opção de restauração de backup

### Versão 0.7 - Dezembro de 2018

- Inclusão do emulador no Editor

### Versão 0.8 - Março de 2019

- Animações das imagens
- alteração da imagem da área de interação com a colocação de um fiducial
- avanço para próxima cena somente após a reprodução do áudio de feedback

### Versão 0.9 - Julho de 2019

- Inclusão de requisitos da aplicação para exigir colocação em ordem

### Versão 1.0 - Outubro de 2019

- Diferentes feedbacks para os fiduciais não corretos
- Inclusão da funcionalidade de mover uma área com o fiducial
- Primeira versão com arquivo de instalação para Windows

### Versão 1.1 - Novembro de 2019

- criação de lista de fiduciais
- aprimoramentos nas exigências de fiduciais e quantidades corretas nas áreas de interação
- inclusão de nomes dos fiduciais no emulador
- manter proporção das imagens ao alterar largura
- versão online do Editor



### Versão 1.2 - Agosto de 2020

- versão online compatível com touchscreen para uso em tablets e smartphones
- versão online com controle de usuários e senhas
- versão online com opção do idioma: português, inglês ou espanhol
- melhoria na interface e caixas de mensagens
- exclusão de aplicações
- escolha da cor da borda da área de interação ou sem borda
- escolha da cor da borda da área de feedback ou sem borda
- uso de imagens na lista de fiduciais para uso no emulador
- impressão dos fiduciais na lista de fiduciais do editor
- upload de aplicações evita sobrescrever os arquivos

### Versão 1.3 - Outubro de 2020

- áreas de interação nas formas: quadrado/retângulo, octágono, losango, círculo/elipse e triângulo
- inclusão da funcionalidade de expandir uma área, permitindo que duas ou mais áreas se comportem como se fossem uma só.
- inclusão da contagem e comparação (>, < e =) nos requisitos.
- inclusão das funcionalidades de voltar para a cena de onde foi chamada (Próxima cena: Voltar) e reiniciar aplicação (Próxima cena: Reiniciar)
- implementação da funcionalidade de especificar a quantidade obrigatória de fiduciais para a área toda além da quantidade em cada lista de fiduciais
- alteração no salvamento da aplicação ao executar no emulador permite sair sem salvar as modificações, que antes eram automaticamente salvas ao executar.
- disponibilização de simulador para executar a aplicação no Emulador para compartilhar a aplicação.
- implementação das funcionalidades para escolhas a partir do uso de um dado na mesa tangível e no emulador

### Versão 1.3.1 - Maio de 2021

*É útil no caso de uso do emulador como recurso educacional inclusivo em computador, notebook, tablet ou smartphone*

- Exibir ou ocultar números dos fiduciais no emulador.
- Exibir fiduciais em ordem aleatória no emulador.