



**Djalma Lúcio Soares da Silva**

**Uma Plataforma Pervasiva para Educação  
Inclusiva Apoiada por IA**

**Tese de Doutorado**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-graduação em Informática, do Departamento de Informática da PUC-Rio .

Orientador : Prof. Alberto Barbosa Raposo

Co-orientador: Prof<sup>a</sup>. Alexandra Camargo Alves

Rio de Janeiro  
Maio de 2024



**Djalma Lúcio Soares da Silva**

**Uma Plataforma Pervasiva para Educação  
Inclusiva Apoiada por IA**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-graduação em Informática da PUC-Rio . Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

**Prof. Alberto Barbosa Raposo**

Orientador

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof<sup>a</sup>. Alexandra Camargo Alves**

C.P.II

**Prof. Bruno Feijó**

PUC-Rio

**Prof. Hélio Côrtes Vieira Lopes**

PUC-Rio

**Prof. Luiz José Schirmer Silva**

UC

**Prof. Luiz Carlos Pacheco Rodrigues Velho**

IMPA

Rio de Janeiro, 02 de Maio de 2024

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial do trabalho, é proibida sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Djalma Lúcio Soares da Silva**

Graduou-se em Ciência da Computação pelo Centro Universitário Senac (São Paulo, Brasil). Fez mestrado no Departamento de Informática da PUC-Rio, especializando-se na área de computação gráfica. Possui mais de 30 anos de experiência em desenvolvimento de software e sistemas de informação.

#### Ficha Catalográfica

Silva, Djalma Lúcio Soares da

Uma Plataforma Pervasiva para Educação Inclusiva Apoiada por IA / Djalma Lúcio Soares da Silva; orientador: Alberto Barbosa Raposo; co-orientador: Alexandra Camargo Alves. – 2024.

260 f: il. color. ; 30 cm

Tese (doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática, 2024.

Inclui bibliografia

1. Informática – Teses. 2. Plataforma Pervasiva. 3. Educação Inclusiva. 4. Inteligência Artificial. 5. Realidade Estendida. I. Barbosa Raposo, Alberto. II. Camargo Alves, Alexandra. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. IV. Título.

CDD: 004

Ao meu filho Henrique, por ser a minha fonte de inspiração e motivação e à  
minha esposa Alexandra por todo o apoio e compreensão.

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer especialmente a Prof<sup>a</sup>. Alexandra Camargo Alves, por sua orientação, apoio e paciência ao longo do desenvolvimento desta pesquisa. Sua experiência e conhecimento foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Alberto Barbosa Raposo, por me acolher em seu grupo de pesquisa e apoio ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

Eu devo muito ao amigo Luiz Schirmer nesta jornada, que sempre me ajudou e me apoiou em todos os momentos.

Agradeço ao amigo Luiz Velho que vem me apoiando e incentivando ao longo dos anos.

Aos professores e profissionais do NAPNE da unidade de Realengo I do Colégio Pedro II que colaboraram com a realização dos testes e validação da plataforma.

Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer à PUC-Rio por me proporcionar a oportunidade de realizar este trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## Resumo

Silva, Djalma Lúcio Soares da; Barbosa Raposo, Alberto; Camargo Alves, Alexandra. **Uma Plataforma Pervasiva para Educação Inclusiva Apoiada por IA**. Rio de Janeiro, 2024. 260p. Tese de Doutorado – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A prevalência global de transtornos de aprendizagem, como dislexia, discalculia, autismo e desordens de atenção, atinge cerca de 10% da população, conforme (BUTTERWORTH, 2018). No Brasil, a falta de um censo específico dificulta a estimativa precisa, mas estima-se que um número significativo de crianças enfrenta desafios de aprendizagem. Este contexto destaca a necessidade de soluções inclusivas, especialmente para auxiliar os professores do Atendimento Educacional Especializado (AEE) dos estudantes dos primeiros anos do Ensino Fundamental I. Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver, validar e avaliar uma plataforma pervasiva baseada em tecnologias web. A plataforma tem como finalidade proporcionar uma infraestrutura para a criação e execução de atividades ludificadas, incorporando algoritmos de aprendizado de máquina e realidade estendida. O foco é direcionado a estudantes dos primeiros anos do Ensino Fundamental diagnosticadas com Transtorno do Espectro Autista (TEA) e Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH). Além disso, busca-se alternativas de custo acessível para manter a plataforma alinhada ao contexto socioeconômico brasileiro. A pesquisa adotou a metodologia Design Science Research (DSR), que se baseia em ciclos interligados e iterativos, onde há a definição do problema, concepção, construção, avaliação e disseminação. Esse método orientou o desenvolvimento da plataforma, garantindo uma abordagem prática e aplicada ao contexto educacional inclusivo. Os resultados da pesquisa culminaram na criação de uma plataforma web abrangente e acessível, integrando algoritmos de aprendizado de máquina e realidade estendida. A plataforma permite aos professores do AEE a personalização de atividades ludificadas que atendam às necessidades específicas de estudantes com TEA e TDAH. A plataforma desenvolvida demonstra promissoras contribuições para a educação inclusiva, oferecendo recursos inovadores e acessíveis. Ao proporcionar uma ferramenta adaptável às demandas socioeconômicas brasileiras, a pesquisa busca contribuir com a igualdade de oportunidades educacionais para estudantes com diferentes necessidades de

aprendizagem, o que é garantido por lei através da Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência, Capítulo IV – Do Direito à Educação, 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.”*

### **Palavras-chave**

Plataforma Pervasiva; Educação Inclusiva; Inteligência Artificial; Realidade Estendida.

## Abstract

Silva, Djalma Lúcio Soares da; Barbosa Raposo, Alberto (Advisor); Camargo Alves, Alexandra (Co-Advisor). **A Pervasive Platform for Inclusive Education Supported by AI**. Rio de Janeiro, 2024. 260p. Tese de Doutorado – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The global prevalence of learning disorders, such as dyslexia, dyscalculia, autism, and attention disorders, affects approximately 10% of the population, according to (BUTTERWORTH, 2018). In Brazil, the lack of a specific census makes precise estimation difficult, but it is estimated that a significant number of children face learning challenges. This context underscores the need for inclusive solutions, especially to assist teachers of students in the early years of Elementary School. This research aims to develop, validate, and evaluate a pervasive web-based platform. The platform aims to provide an infrastructure for the creation and execution of playful activities, incorporating machine learning algorithms and extended reality. The focus is on students in the early years of Elementary School diagnosed with Autism Spectrum Disorder (ASD) and Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). Additionally, affordable alternatives are sought to keep the platform aligned with the Brazilian socioeconomic context. The research adopted the Design Science Research (DSR) methodology, which is based on interconnected and iterative cycles, including problem definition, conception, construction, evaluation, and dissemination. This method guided the development of the platform, ensuring a practical and applied approach to the inclusive educational context. The research results led to the creation of a comprehensive and accessible web platform, integrating machine learning algorithms and extended reality. The platform enables teachers to customize playful activities to meet the specific needs of students with ASD and ADHD. The developed platform shows promising contributions to inclusive education, offering innovative and accessible resources. By providing a tool adaptable to Brazilian socioeconomic demands, the research seeks to contribute equal educational opportunities for students with different learning needs, as guaranteed by law through the Brazilian Law of Inclusion of Persons with Disabilities, Chapter IV – The Right to Education, Sole Paragraph, *“It is the duty of the State, the family, the school community, and society to ensure*

*quality education for people with disabilities, protecting them from all forms of violence, neglect, and discrimination.”*

## **Keywords**

Pervasive Platform; Inclusive Education; Artificial Intelligence; Extended Reality.

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>20</b>
1.1	Contextualização	20
1.2	Motivação	23
1.3	Questão de Pesquisa	26
1.4	Objetivos	26
1.4.1	Objetivos Específicos	26
1.5	Metodologia	27
1.6	Contribuições	28
1.7	Organização do Texto	29
<b>2</b>	<b>Conceitos Fundamentais</b>	<b>31</b>
2.1	Educação	31
2.1.1	Educação Inclusiva	31
2.1.2	Transtornos/Distúrbios de Aprendizagem	40
2.1.3	Lúdico e Educação Inclusiva	52
2.1.4	Desenho Universal para a Aprendizagem	54
2.1.5	Colégio Pedro II	60
2.2	Tecnologia	64
2.2.1	Tecnologias Assistivas	64
2.2.2	Computação Pervasiva	70
2.2.3	Tecnologias Web	75
<b>3</b>	<b>Revisão Sistemática da Literatura</b>	<b>98</b>
3.1	Planejamento da Revisão	98
3.1.1	Questões de Pesquisa	98
3.1.2	Estratégias de Pesquisa	99
3.1.3	Termos de Busca	100
3.1.4	Critérios de Inclusão e Exclusão	105
3.2	Condução da Revisão	106
3.3	Relatório da Revisão	107
3.3.1	Resultados da Busca	107
3.3.2	Análise dos Estudos Seleccionados	111
3.3.3	Identificação de Lacunas na Literatura	124
<b>4</b>	<b>Metodologia</b>	<b>126</b>
4.1	Artefatos na Pesquisa Científica	126
4.2	Design Science Research	127
4.3	DSR na Tese	135
<b>5</b>	<b>A Plataforma</b>	<b>138</b>
5.1	Plataforma FrameLand: visão geral	138
5.1.1	Cenários com os elementos na mesma localização geográfica	140
5.1.2	Cenários com os elementos em localização geográficas distintas	141
5.1.3	Cenários com os elementos de processamento executados em um servidor	141

5.1.4	Arquitetura da plataforma	142
5.2	A plataforma na educação inclusiva	149
5.2.1	Requisitos e Componentes da Plataforma FrameLand para Educação Inclusiva	152
5.2.2	Os Requisitos e o Desenho Universal na Aprendizagem	155
5.2.3	Cenários da Plataforma FrameLand para Educação Inclusiva	157
<b>6</b>	<b>Primeiro Ciclo: Concepção da Plataforma</b>	<b>158</b>
6.1	Imersão	158
6.1.1	Identificação e Conscientização do Problema	158
6.1.2	Revisão Sistemática da Literatura	158
6.1.3	Identificação de artefatos e classes de problemas	159
6.2	Ideação	159
6.2.1	Proposição de artefatos de solução	159
6.2.2	Projeto do artefato selecionado	159
6.3	Prototipação	159
6.3.1	Desenvolvimento do artefato	159
6.4	Avaliação	162
6.4.1	Avaliação do artefato	162
6.5	Conclusões	175
6.5.1	Explicitação das aprendizagens	175
6.5.2	Conclusões	176
6.5.3	Generalização para uma classe de problemas	176
<b>7</b>	<b>Segundo Ciclo: Instância da Plataforma na Educação Inclusiva</b>	<b>177</b>
7.1	Imersão	177
7.1.1	Identificação e Conscientização do Problema	177
7.1.2	Revisão Sistemática da Literatura	177
7.1.3	Identificação de artefatos e classes de problemas	178
7.2	Ideação	178
7.2.1	Proposição de artefatos de solução	178
7.2.2	Projeto do artefato selecionado	178
7.3	Prototipação	179
7.3.1	Desenvolvimento do artefato	179
7.3.2	Ferramentas de Apoio ao Desenvolvimento e as Aplicações	192
7.4	Avaliação	194
7.4.1	Avaliação do artefato	194
7.5	Conclusões	211
7.5.1	Explicitação das aprendizagens	211
7.5.2	Conclusões	212
7.5.3	Generalização para uma classe de problemas	212
<b>8</b>	<b>Terceiro Ciclo: Elaboração e Avaliação de Novas Aplicações</b>	<b>213</b>
8.1	Imersão	213
8.1.1	Identificação e Conscientização do Problema	213
8.1.2	Revisão Sistemática da Literatura	213
8.1.3	Identificação de artefatos e classes de problemas	213
8.2	Ideação	213

8.2.1	Proposição de artefatos de solução	213
8.2.2	Projeto do artefato selecionado	213
8.3	Prototipação	214
8.3.1	Desenvolvimento do artefato	214
8.3.2	Ferramenta de Apoio ao Desenvolvimento e Aplicações	221
8.4	Avaliação	222
8.4.1	Avaliação do artefato	222
8.5	Conclusões	230
8.5.1	Explicitação das aprendizagens	230
8.5.2	Conclusões	231
8.5.3	Generalização para uma classe de problemas	231
<b>9</b>	<b>Conclusão e Trabalhos Futuros</b>	<b>232</b>
9.1	Limitações	235
9.2	Trabalhos Futuros	235
9.3	Considerações Finais	237
<b>10</b>	<b>Referências bibliográficas</b>	<b>238</b>
<b>A</b>	<b>Resultados do Início da Pesquisa</b>	<b>249</b>
A.1	Pesquisa e desenvolvimento com estimação de poses humanas	249
A.2	Pesquisa e desenvolvimento para o ambiente de serviços	249
A.3	Serviço Hands com gRPC	250
A.4	Serviço Holistic com gRPC	251
A.5	Serviço Hands com WebRTC e gRPC	252
A.6	Estimação de poses no navegador	254
A.6.1	Captura dos movimentos das mãos	254
A.6.2	Projeto Pose Tracking	255
A.6.3	Dummy Motion Capture	258
A.6.4	Captura Facial	258
A.7	Considerações Finais	259

## Lista de figuras

Figura 2.1	Evolução das matrículas de educação especial no Ensino Infantil, INEP 2022. Fonte: (SALLORENZO, 2023)	35
Figura 2.2	Evolução das matrículas de educação especial no Ensino Fundamental, INEP 2022. Fonte: (SALLORENZO, 2023)	36
Figura 2.3	Distribuição das necessidades especiais na Educação Básica, INEP 2019. Fonte: (VIZZOTTO, 2020)	37
Figura 2.4	Demanda por atendimento educacional especializado, INEP 2019. Fonte: (VIZZOTTO, 2020)	37
Figura 2.5	Princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem e suas relações com as redes cerebrais, Fonte: (SILVA; JUNIOR, 2020)	57
Figura 2.6	Processo de identificação dos alunos com necessidades educacionais específicas pelo NAPNE de Realengo I. Elaborado pelo autor a partir de informações fornecidas por profissionais do Colégio Pedro II.	63
Figura 2.7	Diagrama de sequência de um caso de uso da Broadcast Channel API para Comunicação entre Abas do Navegador	79
Figura 2.8	Diagrama de sequência de um exemplo de uso da WebRTC em uma Videoconferência	82
Figura 2.9	Exemplo de Uso da MediaStream API	84
Figura 2.10	Exemplo de Uso da Web Speech API	87
Figura 2.11	Visão geral da arquitetura do MediaPipe, fonte: (MODI, 2021)	90
Figura 2.12	Grafos de processamento de um modelo de rastreamento de mãos do MediaPipe. O grafo da esquerda mostra o modelo completo, enquanto o da direita é um subgrafo responsável a extração de keypoints da mão, sendo a inferência realizada na web.	91
Figura 2.13	Diagrama de estados do ciclo de vida típico de uma aplicação WebXR.	95
Figura 3.1	Quantidade de Trabalhos Revisados e Analizados por Base de Dados Eletrônica	109
Figura 3.2	Quantidade de Trabalhos Revisados e Analizados por Ano de Publicação	110
Figura 3.3	Quantidade de Trabalhos Revisados por Ano de Publicação e Base de Dados Eletrônica	111
Figura 3.4	Quantidade de Trabalhos Analisados por Ano de Publicação e Base de Dados Eletrônica	111
Figura 4.1	Etapas da DSR, adaptado de (DRESCH et al., 2015)	130
Figura 4.2	Categorias de ação da DSR, adaptado de (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023)	133
Figura 4.3	Ciclo de DSR que é composto pelas etapas de design e engenharia, adaptado de (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023) e (WIERINGA, 2014).	135
Figura 5.1	Visão Geral da Arquitetura da Plataforma FrameLand	143

Figura 5.2	Subsistemas e canais de comunicação disponibilizados pelo Core	144
Figura 5.3	Componentes do ambiente de serviços implementados e executados sobre o Node-RED	146
Figura 6.1	Primeiro protótipo da plataforma em execução no smartphone, onde, na primeira linha estão as UIs de entrada, da aplicação principal e aplicação de captura remota, respectivamente. Na segunda linha estão a captura remota em execução, a aplicação Hands e a aplicação Pose.	162
Figura 6.2	Cenário com os elementos aquisição, processamento e visualização sendo executados no notebook.	172
Figura 6.3	Cenário com o elemento de aquisição sendo executado no tablet e os elementos de processamento e visualização sendo executados no notebook.	172
Figura 6.4	Cenário com o elemento de aquisição sendo executado no notebook e os elementos de processamento e visualização sendo executados no smartphone.	173
Figura 6.5	Cenário com o elemento de aquisição sendo executado no tablet e os elementos de processamento e visualização sendo executados no smartphone.	173
Figura 6.6	Cenário com os elementos de aquisição, processamento e visualização sendo executados no smartphone, além disso, a visualização também é visualizada na TV através do Mirror Screen (Smart View) do Samsung Smartthings.	174
Figura 6.7	Aplicação Hands sendo executada no modo XR. Na parte acima, a aplicação está sendo executada sem problemas no emulador de XR do Google Chrome. Enquanto a parte de baixo mostra a aplicação sendo executada no smartphone com problemas na inferência.	175
Figura 7.1	Dispositivo Remoto de Aquisição - Captura de tela do smartphone lendo o QRCode gerado pela plataforma que permite a conexão com a aplicação de apoio.	185
Figura 7.2	Dispositivo Remoto de Aquisição - Captura de tela do aplicativo de apoio em execução no smartphone enviando vídeo e a fala convertida em texto para a plataforma.	185
Figura 7.3	Atividade: Qual o nome das cores? - Captura de tela da atividade apresentando a interface de personalização das cores dos objetos e quais palavras devem ser associadas a cada cor.	186
Figura 7.4	Atividade: O que no quarto? - Captura de tela da atividade apresentando um exemplo de interação com o reconhecimento de fala e gestos, onde o objeto "cama" foi identificado e selecionado.	187
Figura 7.5	Atividade: O que tem na cozinha? - Captura de tela da atividade apresentando a interface de personalização dos objetos presentes na cozinha e quais palavras devem ser associadas a cada objeto.	188
Figura 7.6	Atividade: O que tem no banheiro? - Captura de tela da atividade apresentando um exemplo de interação onde o objeto "privada" foi identificado e selecionado.	189
Figura 7.7	Gerador de Cenários Interativos a partir de Arquivos GLTF - Diagrama de funcionamento da ferramenta.	193

Figura 7.8	Customização do Inspector do Babylon.js - Captura de tela da interface do inspector customizado.	194
Figura 7.9	Avaliação das Aplicações Ludificadas e Interativas para Educação Inclusiva - Instância da plataforma sendo utilizada por alunos durante a 1ª Semana de Ciência e Tecnologia do Colégio Pedro II.	208
Figura 8.1	Atividade: Desafio da Lateralidade na Ilha Pirata - Captura de tela da atividade apresentando um exemplo da interação com o reconhecimento das mãos, onde o estudante deve mover a mão na direção da bola com a cor correspondente a da mão.	218
Figura 8.2	Atividade: Futebol das Letras - Captura de tela da atividade apresentando um exemplo da interação com o reconhecimento de faces, onde o estudante deve mover a cabeça para a direção correta para atingir a bola com a letra correta da palavra apresentada.	219
Figura 8.3	Atividade: Pulando com a Matemática - Captura de tela da atividade apresentando um exemplo da interação com o reconhecimento de movimentos do corpo, onde o estudante deve pular na direção do resultado correto da operação matemática apresentada.	220
Figura 8.4	Ferramenta de Apoio ao Desenvolvimento e Aplicações - Captura de tela da ferramenta de apoio ao desenvolvimento e às aplicações sendo executada no smartphone. A ferramenta permite executar os modelos de aprendizado de máquina relacionados a estimação de pose, face e mãos em tempo real.	222
Figura A.1	Primeiros experimentos com a solução Hands do MediaPipe, onde a imagem capturada da pessoa enviada para o servidor é processada	250
Figura A.2	Comunicação realizada sobre o protocolo HTTP/2 entre o cliente e o servidor do serviço Hands	251
Figura A.3	Implementação do cliente e servidor do serviço Hands com gRPC em C++, onde a imagem capturada da pessoa enviada para o servidor é processada	251
Figura A.4	Implementação do cliente e servidor do serviço Holistic com gRPC em C++, onde a imagem capturada da pessoa enviada para o servidor é processada	252
Figura A.5	Serviço de interoperabilidade que permite o envio de streaming de vídeo através de WebRTC para ser processado em serviço que utiliza gRPC, onde os resultados são transmitidos para outros clientes que estejam conectados ao serviço de interoperabilidade.	253
Figura A.6	Serviço de interoperabilidade que permite o envio de streaming de vídeo através de WebRTC para ser processado em serviço que utiliza gRPC, onde os resultados são transmitidos para outros clientes que estejam conectados ao serviço de interoperabilidade.	254
Figura A.7	Aplicação Lateralidade, onde as posições dos pulsos inferidas pelo modelo PoseNet são utilizadas para posicionar imagens de mãos sobre as mãos do usuário	255
Figura A.8	Projeto Pose Tracking, onde o modelo PoseNet é utilizado para rastrear e identificar a pose de várias pessoas em tempo real no navegador	256
Figura A.9	Tarefas realizadas pelo projeto Pose Tracking	257

Figura A.10 Resultado da inferência dos keypoints com coordenadas 3D de uma boneca, usando o modelo de estimação de pose BlazePose do framework MediaPipe, sendo executado diretamente no navegador 258

Figura A.11 RAplicação implementada com o SDK da Hallway: (1) Captura imagem do rosto da pessoa; (2) Modelo gerado a partir da captura; (3) Modelo adicionado na cena 3D; (4) Modelo sendo animado a partir das informações do Face Mesh do MediaPipe. 259

## Lista de tabelas

Tabela 2.1	Transtornos mais comentados nos meios educacionais (SEABRA, 2020)	41
Tabela 2.2	Nível 1 de suporte: com pouco apoio	48
Tabela 2.3	Nível 2 de suporte: com muito apoio	48
Tabela 2.4	Nível 3 de suporte: com apoio na maior parte do tempo	49
Tabela 2.5	API Web categorizada por tipo de aplicação	78
Tabela 3.1	Distribuição dos Trabalhos Seleccionados por Base de Dados Eletrônica	107
Tabela 3.2	Trabalhos Analisados	108
Tabela 5.1	Classificação dos equipamentos de acordo o tipo do elemento	139
Tabela 5.2	Cenários em que todos os elementos são executados no navegador	140
Tabela 5.3	Cenário em que os elementos estão em localização geográfica diferente	141
Tabela 5.4	Cenários onde os processamentos são realizados em um servidor	142
Tabela 5.5	Cenários disponíveis associados aos locais onde serão executadas as atividades sessões de fisioterapia	157
Tabela 6.1	equipamentos utilizados para testar os cenários	163
Tabela 6.2	Cenários testados, nos quais os elementos de aquisição, processamento e visualização são executados no navegador.	165
Tabela 7.1	Recursos usados na etapa de avaliação do segundo ciclo.	195
Tabela 7.2	testes de funcionalidade realizados com o componente de Reconhecimento de Gestos com as Mãos	198
Tabela 7.3	testes de funcionalidade realizados com o componente de Conversão de Texto para Fala	200
Tabela 7.4	testes de funcionalidade realizados com o componente de Conversão de Fala para Texto	202
Tabela 7.5	Avaliação dos professores e fonoaudióloga das aplicações das atividades ludificadas.	205
Tabela 8.1	Testes de funcionalidade realizados com o componente de Reconhecimento de Movimentos do Corpo	224
Tabela 8.2	Testes de funcionalidade realizados com o componente de Reconhecimento de Faces	226

## **Lista de Abreviaturas**

AEE – Atendimento Educacional Especializado

AR – Realidade Aumentada (Augmented Reality)

CPII – Colégio Pedro II

DSR – Design Science Research

DUA – Design Universal para Aprendizagem

IA – Inteligência Artificial

MEC – Ministério da Educação

ML – Aprendizado de Máquina (Machine Learning)

MR – Realidade Mista (Mixed Reality)

PNE – Portador de Necessidades Especiais

PcD – Pessoa com Deficiência

STT – Speech to Text

TDAH – Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade

TEA – Transtorno do Espectro Autista

TTS – Text to Speech

VR – Realidade Virtual (Virtual Reality)

XR – Realidade Estendida (Extended Reality)

*“A educação é a arma mais poderosa que  
você pode usar para mudar o mundo.”*

**Nelson Mandela, .**

# 1

## Introdução

Este capítulo apresenta a introdução necessária para o entendimento do trabalho. Ele é dividido em seções que abordam a contextualização do problema e a justificativa em tratá-lo, a motivação, as questões de pesquisa, os objetivos, a metodologia, as contribuições e a organização do texto.

### 1.1

#### Contextualização

A prevalência global de transtornos de aprendizagem, como dislexia, discalculia, autismo e desordens de atenção, atinge cerca de 10% da população, conforme (BUTTERWORTH, 2018). Os desafios associados a esses transtornos podem afetar negativamente, tanto no desempenho acadêmico quanto no desenvolvimento social e emocional, principalmente em crianças. No Brasil, ainda que o governo estabeleça diretrizes e programas para a educação inclusiva, como apresentado respectivamente nas seções 2.1.1.1 e 2.1.1.3, a falta de um censo específico que envolva toda a população, ou seja, fora ou dentro da escola, dificulta a estimativa precisa. O que há disponível em números no Brasil vem do Censo Escolar, que, no ano de 2022, mostra que houve um aumento de 63% na matrícula de alunos público-alvo da educação especial na Educação Infantil e no Ensino Fundamental em um período de 12 anos o aumento contínuo foi de 413%(SALLORENZO, 2023). Este cenário destaca a necessidade de soluções inclusivas, especialmente para auxiliar os professores dos estudantes dos primeiros anos do Ensino Fundamental I, pois é nessa fase que as crianças começam a desenvolver habilidades fundamentais, como a leitura, a escrita e a matemática.

A gamificação é uma estratégia que tem sido utilizada para tornar as atividades educacionais mais atrativas e engajadoras (FAROOQ et al., 2022). Através dela são aplicados elementos de jogos em contextos não jogos, como a educação, onde o seu objetivo é motivar e engajar os alunos. Devido a sua natureza lúdica, a gamificação pode ser uma ferramenta eficaz para promover a aprendizagem e o desenvolvimento de habilidades em estudantes com necessidades especiais, como os estudantes com Transtorno do Espectro Autista (TEA) e Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) (JAIN et al., 2023)(KAIMARA, 2023)(CARLIER et al., 2020), pois pode tornar as atividades educacionais mais atraentes e motivadoras, além de permitir a personalização da experiência de aprendizagem de acordo com as

necessidades de cada aluno (GAGGI; GROSSET; PANTE, 2023).

Entretanto, neste trabalho ao invés de utilizar a gamificação, será utilizada a ludificação<sup>12</sup>, visto que no contexto educativo há aspectos negativos associados à gamificação de aplicações educativas, como a competição e a pressão para alcançar metas, que podem ser prejudiciais para os alunos (ALMEIDA et al., 2023). A ludificação, por outro lado, tem como objetivo principal promover a diversão, a criatividade e a interação social, sem necessariamente seguir uma estrutura formal de jogo (LOUREIRO; AL., 2021) (SOUZA; MOLINA, 2023). Visto que a ludificação é uma abordagem mais flexível e menos competitiva, ela pode ser mais adequada para estudantes com necessidades especiais, como os diagnosticados com TEA e TDAH, pois permite que eles aprendam de forma mais descontraída e prazerosa, sem a pressão de atingir metas ou competir com os colegas.

A realidade estendida (Extended Reality, XR) é uma tecnologia emergente que vem sendo utilizada para criar ambientes de aprendizagem mais imersivos e interativos (MOTA et al., 2020) (GAGGI; GROSSET; PANTE, 2023) (KHOIRUNNISA; MUNIR; DEWI, 2023) (TARNG; PAN; OU, 2022), além de sua aplicação no auxílio de tratamentos dos transtornos de aprendizagem (TASNIM; EISHITA, 2022) (GRAHAM et al., 2022) (ALQITHAMI, 2021).

Já a inteligência artificial (IA) e os algoritmos de aprendizado de máquina (Machine Learning, ML) têm sido empregados como ferramentas de apoio ao diagnóstico e tratamento de crianças com necessidades específicas, como crianças com TEA e TDAH (ARAKAWA et al., 2023). Além disso, a IA e o ML têm sido usados para personalizar a experiência de aprendizagem de alunos com necessidades especiais, com resultados promissores (VIDANARALAGE; DHARMARATNE; HAQUE, 2022) (DILLHOFF et al., 2020) (PAVEL et al., 2022).

A utilização combinada de realidade estendida e algoritmos de aprendizado de máquina, no contexto da educação inclusiva, traz benefícios significativos tanto para os alunos quanto para os professores, como apontado nos estudos (TASNIM; EISHITA, 2022) e (DHARMARATHNE et al., 2022). No entanto, integrar essas tecnologias em uma única aplicação para a criação de atividades lúdicas pode apresentar alguns desafios, onde pode-se destacar:

- Consumo de recursos: tanto a realidade estendida quanto os algoritmos de estimação de poses humanas exigem uma grande quantidade de recursos computacionais. Integrá-los pode aumentar ainda mais o consumo de

<sup>1</sup>Tradução livre da palavra inglesa ludification

<sup>2</sup><https://www.merriam-webster.com/dictionary/ludification>

recursos, tornando a aplicação mais lenta ou com problemas de desempenho.

- Interação com o usuário: em uma aplicação lúdica ou gamificada, a interação com o usuário é fundamental. A utilização da estimação de pose em aplicações de realidade estendida pode impactar a forma como é realizada essa interação, uma vez que poderá afetar o modo como o usuário se movimenta na cena e/ou como interage com objetos virtuais.
- Desenvolvimento e integração: o desenvolvimento de uma aplicação que integra a realidade estendida e a estimação de poses pode ser complexo, pois envolve a associação entre diferentes tecnologias e técnicas. É necessário garantir que todas as partes funcionem em conjunto de maneira harmoniosa e sem conflitos. Além disso, a integração pode exigir conhecimentos em várias áreas, como processamento de imagem, programação de jogos, realidade estendida e estimação de poses a partir de algoritmos de aprendizado de máquina.

A mitigação desses desafios é fundamental para a criação de um sistema eficiente. No que se refere ao desafio de desenvolvimento e integração, uma plataforma com um conjunto de tecnologias e ferramentas pode reduzir a complexidade da integração entre realidade estendida e algoritmos de aprendizado de máquina, bem como facilitar a geração e a disponibilização das aplicações que farão uso dessa integração. Quando se trata de suporte a diversas tecnologias, a plataforma web deve ser seriamente considerada, pois, atualmente, ela é pervasiva, ou seja, está disponível em todos os lugares, como apontado na Seção 2.2.2.4, e vem sendo considerada a mais colaborativa e independente plataforma para compartilhar informações (BUTCHER; JOHN; RITSOS, 2020). A maneira mais simples de acessar um conteúdo disponível na web é através de um navegador, sendo este, o único requisito que deve estar necessariamente instalado em um dispositivo com acesso à internet. Associado com o aumento do poder de processamento dos computadores pessoais, smartphones e tablets, os navegadores web atuais podem ser considerados uma plataforma de software completa onde é possível executar e gerenciar aplicações complexas diretamente no ambiente disponibilizado por ele. Sendo assim, utilizar a plataforma web para o desenvolvimento de aplicações para as atividades educacionais que sejam favorecidas pela combinação entre realidade estendida e algoritmos de aprendizado de máquina, pode trazer alguns benefícios. Dentre eles podemos destacar a facilidade de acesso, já que os usuários podem acessar a aplicação por meio de um navegador web sem precisar instalar um aplicativo específico. Além disso, a plataforma web permite que a aplicação seja executada em diferentes dispositivos, sem a necessidade de desenvolver versões específicas para

cada um deles. Outro benefício é a possibilidade de utilizar recursos de processamento remoto, como o uso da computação em nuvem, por exemplo, para aliviar o processamento exigido pelos algoritmos de aprendizado de máquina, permitindo que dispositivos com menor poder de processamento possam utilizar a aplicação. Por fim, a plataforma web também permite a utilização de tecnologias de cache e otimização de recursos, reduzindo o consumo de banda e aumentando a eficiência da aplicação.

Neste trabalho iremos focar nos problemas relacionados à produção de uma plataforma baseada em tecnologias web a qual será responsável por fornecer uma infraestrutura de software e comunicação, tendo como propósito facilitar o desenvolvimento de aplicações para atividades educacionais inclusivas, as quais serão ludificadas por meio da realidade estendida e dos algoritmos de aprendizado de máquina. Baseada em tecnologias web, sua arquitetura permite o fácil acesso aos recursos e funcionalidades em qualquer dispositivo compatível, tornando-a flexível e conveniente para diferentes cenários de uso. Em complementação, buscaremos por alternativas de custo acessível a todos os requisitos da plataforma, a fim de mantê-la no contexto socioeconômico brasileiro.

## 1.2 Motivação

Esta pesquisa iniciou-se através da parceria com o doutorando Luiz Schirmer (atualmente doutor e Professor da Unisinos) e o Prof. Hélio Lopes ambos do departamento de informática da PUC-Rio, e com o Prof. Luiz Velho do IMPA, onde os trabalhos resultantes desta parceria estão descritos Seção A.1. Dentre os diversos trabalhos desta parceria, destaca-se o trabalho “TensorPose: Real-time pose estimation for interactive applications”(SILVA et al., 2019), o qual consiste na produção e otimização de um algoritmo para estimação de poses humanas, em conjunto com o desenvolvimento de um framework para a produção de aplicações interativas que utilizam o algoritmo. Os resultados relacionados ao desempenho, obtidos com o algoritmo desenvolvido, superaram o algoritmo OpenPose(CAO et al., 2019) que naquele momento era o estado da arte. Para evidenciar a eficácia e robustez do algoritmo, algumas aplicações foram implementadas com o framework, uma delas era uma aplicação de realidade virtual nativa para o sistema operacional Windows e a outra era de realidade aumentada desenvolvida sobre a plataforma web. Devido a arquitetura do framework ser cliente-servidor, o algoritmo pode ser executado em um computador com maior poder computacional enquanto as aplicações podem ser executadas em computadores com poder computacional

suficiente para sua execução. A configuração básica de infraestrutura nos cenários utilizados com o TensorPose consistiu em três computadores: um para processamento do algoritmo, outro para a aplicação e captura das imagens e um último como servidor de comunicação, os quais possuíam interfaces de rede de última geração e estavam interligados através de um switch de rede de alto desempenho.

Embora o framework tenha sido efetivo durante as pesquisas com o TensorPose, um fator que não favorece sua utilização para a criação de novas aplicações, é que seu componente de comunicação foi construído sobre uma biblioteca que foi descontinuada. Também com relação a efetividade, a configuração de infraestrutura atingiu seus objetivos, contudo, há um alto custo envolvido para sua montagem. Devido às limitações de configuração de infraestrutura, descontinuidade de um dos principais componentes do framework e buscando explorar ao máximo as características oferecidas pelos navegadores web modernos, ao invés de estender o trabalho realizado com o framework, para atingir os objetivos desta pesquisa, foi decidido elaborar uma nova arquitetura que utilizará uma abordagem híbrida de processamento, onde, na maior parte do tempo o processamento será realizado diretamente no navegador web, sendo assim, não há necessidades de um servidor dedicado para executar a tarefa desejada, mas, dependendo do cenário e quando for necessário, este processamento poderá ser realizado em um servidor dedicado a tal tarefa.

Em seguida à decisão de criar uma nova arquitetura, foi decidido que ela deveria ser aplicada à educação inclusiva, onde pode agregar valores sociais e econômicos. Do ponto de vista social, a implementação de tecnologias inovadoras na área da educação inclusiva contribui para a melhoria da qualidade de vida dos alunos, permitindo que eles recebam o conhecimento de forma mais eficiente e personalizada. Em termos econômicos, ao utilizar recursos acessíveis e livres, busca-se reduzir os custos associados ao desenvolvimento e implantação, permitindo que a tecnologia seja mais acessível para as escolas públicas ou privadas proporcionando uma solução de baixo custo que se enquadra no contexto socioeconômico brasileiro.

Inicialmente, a proposta era implementar a nova arquitetura exclusivamente para ambientes escolares, com foco especial nas instituições públicas. No entanto, conforme os dados apresentados a seguir, sua aplicação pode ser estendida aos lares. Isso possibilitaria que estudantes, mesmo impossibilitados de comparecer fisicamente à escola, como foi evidenciado durante a pandemia de COVID-19, continuem a usufruir das atividades.

De acordo com dados da pesquisa TIC Domicílios 2021(Cetic.br, 2021),

realizada pelo Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br), o percentual de domicílios brasileiros que possuem pelo menos um celular chegou a 95% em 2021. Essa quantidade de celulares por domicílio pode indicar uma maior disponibilidade de dispositivos móveis para acesso à internet. No entanto, é importante destacar que a pesquisa não especifica quantos desses celulares são smartphones. Apesar da pesquisa não especificar quantos desses celulares são smartphones, é possível inferir que uma grande parte desses dispositivos sejam smartphones, uma vez que esses dispositivos têm se popularizado cada vez mais no país, como também é informado na pesquisa TIC Domicílios 2021, onde, cerca de 86% dos usuários de internet no Brasil utilizam o celular como meio de acesso à internet, o que atesta que os smartphones são uma importante ferramenta para o acesso à internet no país. Outro dado relevante mostrado na pesquisa, é que o acesso à internet por meio de celulares é mais comum entre pessoas de baixa renda e em áreas rurais. Isso confirma a coerência na escolha dos smartphones como um dos componentes fundamentais para este trabalho, pois seu uso será importante para quase todos os cenários tratados pela plataforma proposta, mesmo que as pessoas não tenham acesso à banda larga em suas residências.

Outros dados interessantes que a pesquisa TIC Domicílios 2021 (Cetic.br, 2021) também mostra é que 82% dos domicílios brasileiros possuíam acesso à internet em 2021. Desse total, 88% utilizavam a internet por meio de banda larga fixa ou móvel. Apesar do crescimento do acesso à internet no país nos últimos anos, a pesquisa revela que ainda existem desigualdades regionais e socioeconômicas no acesso à banda larga. Enquanto 89% dos domicílios localizados em áreas urbanas possuem acesso à internet, esse percentual cai para 78% nas áreas rurais. Além disso, a penetração da banda larga é menor entre as classes sociais mais baixas: enquanto 95% dos domicílios da classe A possuem acesso à internet, esse percentual cai para 52% na classe DE. Esses dados indicam que, embora a maioria dos brasileiros tenha acesso à internet, ainda há uma parcela significativa da população que não possui acesso à banda larga. Algumas soluções de comunicação presentes neste trabalho estão sendo pensadas para atender a esta parcela da população, especialmente às pessoas com menor poder aquisitivo ou que vivam em regiões mais remotas.

Já, conforme os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), em 2021, cerca de 95,5% dos domicílios brasileiros possuíam pelo menos um aparelho de televisão, e 84,2% desses aparelhos eram digitais. Além disso, o mesmo levantamento mostra que a Região Centro-Oeste do país apresenta a maior proporção de domicílios com aparelho de televisão digital (88,1%), seguida pelas Regiões Sul (86,6%), Sudeste (86,2%), Norte (85,1%)

e Nordeste (77,8%). Assim como os smartphones, como indicado na pesquisa, os aparelhos de televisão digital são um dispositivo comum nos domicílios brasileiros, o que para este trabalho é demasiadamente relevante, visto que as aplicações de realidade virtual não imersiva e realidade aumentada construídas sobre a plataforma poderão fazer uso deste dispositivo.

### 1.3

#### Questão de Pesquisa

A questão de pesquisa que norteia este trabalho é:

- Como uma plataforma baseada em tecnologias web, integrando ML e XR, pode facilitar o desenvolvimento de aplicações de atividades educacionais inclusivas e ludificadas para alunos com TEA e TDAH dos primeiros anos do Ensino Fundamental I, com foco no suporte aos professores na elaboração de conteúdos adaptados às necessidades específicas desses alunos?

### 1.4

#### Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver, implementar e avaliar uma plataforma baseada em tecnologias web, integrando algoritmos de aprendizado de máquina e realidade estendida. O foco principal será capacitar e apoiar os professores de informática educativa do campus Realengo I do Colégio Pedro II na criação personalizada de atividades ludificadas adaptadas às necessidades de estudantes com TEA e TDAH. Essa plataforma irá fornecer templates para que os professores possam utilizá-los como base para a customização das atividades para cada criança que irá utilizá-la. Além disso, a plataforma será desenvolvida levando em consideração a viabilidade econômica, buscando alternativas de custo acessível para atender aos requisitos da plataforma e mantê-la acessível no contexto socioeconômico brasileiro.

#### 1.4.1

##### Objetivos Específicos

A partir do objetivo geral foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- I. **Identificar as orientações, recomendações e desafios para produção de material e implementação da plataforma**

Identificar na literatura as orientações e recomendações para a produção de material que atenda às necessidades específicas dos alunos com TEA

e TDAH, bem como os principais desafios e limitações para a implementação da plataforma proposta. Além disso, analisar as possíveis soluções para superar esses desafios e investigar a integração dos algoritmos de aprendizado de máquina.

## II. Implementar a plataforma

Implementar a plataforma, utilizando tecnologias web, algoritmos de aprendizado de máquina e realidade estendida.

## III. Desenvolver templates e ferramentas para professores

Projetar e desenvolver templates e ferramentas na plataforma que permitam aos professores criar, customizar e ludificar atividades educacionais adaptadas às necessidades específicas de cada estudante.

## IV. Avaliar a plataforma

Avaliar a plataforma, por meio de oficinas com os professores da informática educativa do campus Realengo I do Colégio Pedro II, e coletar feedbacks para aprimorar a plataforma.

## 1.5

### Metodologia

Nesta pesquisa, foi utilizada a metodologia Design Science Research (DSR), visto que, ela concentra-se na criação de artefatos destinados a auxiliar na solução de problemas do mundo real (PIMENTEL; FILIPPO; SANTOS, 2020) (PIMENTEL; FILIPPO; SANTOS, 2020), fundamentando-se nos princípios de validade científica e validade pragmática. Isso garante não apenas o rigor teórico e metodológico necessários, mas também a eficácia prática das soluções propostas para os desafios identificados, conforme destacado por (DRESCH et al., 2015). Os detalhes sobre a metodologia são apresentados no Capítulo 4.

Foram estabelecidos os seguintes ciclos para conduzir o desenvolvimento e a avaliação da plataforma proposta:

### I. Primeiro Ciclo: Concepção da Plataforma

O primeiro ciclo foi dedicado ao planejamento e desenvolvimento da plataforma. Buscou-se criar uma solução abrangente e reutilizável, com ferramentas para facilitar o desenvolvimento de novas aplicações. As informações sobre o ciclo estão no Capítulo 6.

### II. Segundo Ciclo: Instânciação da Plataforma para Educação Inclusiva

O segundo ciclo focou na implementação de uma instância da plataforma

voltada ao contexto da educação inclusiva. Os detalhes estão descritos no Capítulo 7.

### III. Terceiro Ciclo: Elaboração e Avaliação de Novas Aplicações

O terceiro ciclo concentrou-se na continuação do desenvolvimento das aplicações ludificadas, especialmente na concepção e avaliação de novos templates. Detalhes sobre esse ciclo estão no Capítulo 8.

## 1.6

### Contribuições

A tese apresenta contribuições significativas para o avanço do campo da educação inclusiva por meio da introdução da plataforma denominada FrameLand. Esta plataforma oferece uma abordagem inovadora para o desenvolvimento de soluções tecnológicas, aumentando o nível de abstração e permitindo que os desenvolvedores se concentrem na aplicação em si, sem a necessidade de lidar com complexidades tecnológicas. Ao acelerar o desenvolvimento de soluções e resolver tarefas relacionadas a desempenho e funcionalidades comuns, a FrameLand oferece uma ferramenta poderosa para a criação de ambientes educacionais inclusivos e acessíveis.

Uma das principais contribuições da tese é a apresentação de uma instância da FrameLand projetada especificamente para o contexto da educação inclusiva. Essa instância, desenvolvida em colaboração com especialistas em educação inclusiva do Colégio Pedro II, demonstra o potencial da plataforma para apoiar práticas pedagógicas inovadoras e promover a participação ativa de todos os alunos, independentemente de suas habilidades ou limitações. Os requisitos dessa instância estão embasados no Desenho Universal para Aprendizagem (DUA), garantindo uma abordagem inclusiva desde o início do processo de desenvolvimento.

### Contribuições Diretas:

#### I. Desenvolvimento da Plataforma FrameLand

Introdução de uma plataforma inovadora baseada em tecnologias web, projetada para simplificar o desenvolvimento de soluções que combinam a realidade estendida com algoritmos de aprendizado de máquina.

#### II. Instância Personalizada para Educação Inclusiva:

Desenvolvimento de uma instância dedicada da FrameLand, customizada com recursos e funcionalidades específicas para atender às demandas e desafios da educação inclusiva, em estreita colaboração com especialistas nesse campo de atuação.

### III. Aplicações Ludificadas e Ferramentas de Personalização:

Desenvolvimento de um conjunto de aplicações de atividades ludificadas e ferramentas de personalização destinadas a atender às necessidades específicas de alunos com TEA e TDAH. Cada recurso utilizado na implementação dessas atividades é fundamentado no DUA, garantindo sua adequação às diversas necessidades de aprendizagem dos alunos. Além disso, essas aplicações podem ser utilizadas como templates para o desenvolvimento de novas atividades, ampliando as possibilidades de personalização e adaptação.

### Contribuições Indiretas:

#### I. Ampliação de Funcionalidades

Inclusão de componentes, como reconhecimento de gestos, tradução de texto para fala e de fala para texto, reconhecimento de movimentos do corpo e detecção de faces, ampliando as possibilidades de aplicação da plataforma.

#### II. Abordagem Acessível e Adaptável

Projeto da plataforma com um custo acessível em consideração ao contexto socioeconômico brasileiro, tornando-a aplicável em uma variedade de cenários educacionais e não educacionais.

Essas contribuições representam um avanço significativo na busca por um ensino mais inclusivo e equitativo. Ao tornar as tecnologias acessíveis e adaptáveis ao contexto socioeconômico brasileiro, a tese abre caminho para experiências de aprendizagem mais envolventes e eficazes, beneficiando não apenas os estudantes, mas também educadores e instituições de ensino. Em última análise, a introdução da FrameLand e sua aplicação na educação inclusiva têm o potencial de transformar positivamente a maneira como a educação é concebida e praticada, contribuindo com a igualdade de oportunidades e a diversidade no ambiente educacional.

## 1.7

### Organização do Texto

Este trabalho está estruturado em dez capítulos, organizados de forma a proporcionar uma compreensão abrangente do desenvolvimento da plataforma proposta e suas aplicações na área da educação inclusiva.

No Capítulo 1, é apresentada a Introdução, onde são delineados o contexto, os objetivos, a relevância e a organização geral da pesquisa.

O Capítulo 2 aborda os Conceitos Fundamentais, fornecendo uma base teórica necessária para compreender os fundamentos subjacentes à pesquisa, incluindo conceitos relacionados à educação inclusiva, tecnologias educacionais e as tecnologias utilizadas na plataforma proposta.

No Capítulo 3, é realizada uma Revisão Sistemática da Literatura, examinando estudos que promovam a educação inclusiva através da ludificação, realidade estendida e algoritmos de aprendizado de máquina. A revisão tem como objetivo identificar as principais tendências, desafios e oportunidades de pesquisa na área.

O Capítulo 4 detalha a Metodologia adotada neste estudo, descrevendo o método Design Science Research utilizado e delineando os procedimentos seguidos para o desenvolvimento e avaliação da plataforma.

O Capítulo 5 se concentra na descrição da Arquitetura da Plataforma, apresentando sua estrutura, funcionalidades e componentes principais. Uma seção específica é dedicada à instância da plataforma na educação inclusiva, destacando suas características e objetivos específicos.

Os Capítulos 6, 7 e 8 compõem os ciclos da metodologia Design Science Research, sendo respectivamente denominados de Primeiro Ciclo: Concepção da Plataforma, Segundo Ciclo: Instância da Plataforma na Educação Inclusiva e Terceiro Ciclo: Elaboração e Avaliação de Novas Aplicações. Em cada ciclo, são detalhados os processos de concepção, desenvolvimento, implementação e avaliação das soluções propostas, com foco nas melhorias iterativas e na validação empírica.

No Capítulo 9, são apresentadas as Conclusões do estudo, incluindo as contribuições, limitações e possíveis direções futuras para a pesquisa.

Por fim, o Capítulo 10 contém as Referências Bibliográficas utilizadas ao longo do trabalho, seguidas pelo Apêndice A, que apresenta os Resultados do Início da Pesquisa, fornecendo uma visão mais detalhada das etapas preliminares do estudo.

## 2

### **Conceitos Fundamentais**

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais necessários para o entendimento do trabalho. Ele é dividido em duas seções: A primeira seção aborda a Educação Inclusiva, descrevendo de forma resumida a Educação Inclusiva no Brasil e seus principais programas, além de fornecer um panorama geral sobre os transtornos/distúrbios de aprendizagem e como eles afetam o processo de ensino-aprendizagem.

A segunda seção aborda a Tecnologia, descrevendo de forma resumida as tecnologias assistivas e suas aplicações na educação inclusiva, os conceitos de Computação Pervasiva e as principais Tecnologias Web utilizadas para o desenvolvimento da plataforma proposta.

#### **2.1**

##### **Educação**

Esta seção descreve de forma resumida a Educação Inclusiva no Brasil e seus principais programas. Fornece um panorama geral sobre os transtornos/distúrbios de aprendizagem e como eles afetam o processo de ensino-aprendizagem. Além disso, devido a sua importância para esta pesquisa, dá uma visão geral sobre o Colégio Pedro II e como ele aborda a educação inclusiva.

##### **2.1.1**

###### **Educação Inclusiva**

De acordo com (BRASIL, 2008), o movimento mundial pela inclusão é uma ação política, cultural, social e pedagógica, desencadeada em defesa do direito de todos os alunos de estarem juntos, aprendendo e participando, sem nenhum tipo de discriminação. A educação inclusiva emerge como um paradigma educacional embasado nos princípios dos direitos humanos, unindo igualdade e diferença como valores interdependentes. Este paradigma vai além da concepção de equidade formal, ao considerar as circunstâncias históricas que geram a exclusão tanto dentro quanto fora do ambiente escolar.

Ao reconhecer as dificuldades enfrentadas nos sistemas de ensino como evidências da necessidade de confrontar práticas discriminatórias, a educação inclusiva assume um papel central no debate sobre a sociedade contemporânea e o papel da escola na superação da lógica da exclusão (BRASIL, 2008). Com base nos referenciais para a construção de sistemas educacionais inclusivos, a

organização de escolas e classes especiais passa por uma reavaliação, implicando uma mudança estrutural e cultural nas instituições de ensino. Essa transformação visa garantir que todas as especificidades dos alunos sejam atendidas de maneira efetiva.

A educação inclusiva no Brasil é respaldada pela Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva (BRASIL, 2008). Esta política visa garantir a inclusão escolar de alunos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades/superdotação. Seu propósito é orientar os sistemas de ensino para assegurar o acesso ao ensino regular, promovendo participação, aprendizagem e continuidade nos níveis mais avançados do ensino. Além disso, a política preconiza a transversalidade da modalidade de educação especial desde a educação infantil até a educação superior, a oferta de atendimento educacional especializado, a formação de professores e demais profissionais da educação para a inclusão, a participação da família e da comunidade, bem como a garantia de acessibilidade arquitetônica, nos transportes, nos mobiliários, nas comunicações e informações.

#### 2.1.1.1

##### **Marcos Legais da Educação Inclusiva no Brasil**

O percurso legislativo relacionado à Educação Inclusiva no Brasil, delineado por marcos normativos ao longo das décadas, reflete uma evolução significativa na promoção da inclusão e garantia de direitos. Desde a Constituição de 1988, que estabelece princípios fundamentais da educação inclusiva, passando por leis e decretos que criminalizam a recusa de matrícula e priorizam atendimento especializado, até a mais recente revogação do Decreto nº 10.502 em 2023, que buscava implementar escolas exclusivas, o arcabouço legal reflete debates e avanços na construção de uma educação equitativa, inclusiva e voltada para o aprendizado ao longo da vida. Esses instrumentos legais buscam garantir acesso, permanência e qualidade na educação para todos, incluindo pessoas com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades ou superdotação.

A seguir são apresentados os marcos e uma breve descrição sobre os mesmos.

**1988 – Constituição da República Federativa do Brasil** - O texto estabelece a promoção do bem sem discriminação, define a educação como direito para pleno desenvolvimento, cidadania e qualificação para o trabalho. Reforça o princípio da igualdade de acesso à escola e estabelece o dever do Estado em fornecer atendimento educacional especializado, preferencialmente na rede regular de ensino (LEGISLAÇÃO, 2023).

**1989 – Lei nº 7.853/89** - O texto dispõe sobre o apoio e a integração social de pessoas com deficiência, criminalizando a recusa ou impedimento de matrícula em qualquer nível de ensino, público ou privado, com pena de um a quatro anos de prisão, além de multa (LEGISLACAO, 2023).

**1996 – Lei nº 9.394/96** - O texto preconiza que os sistemas de ensino devem garantir currículo, métodos e recursos específicos para atender às necessidades dos alunos, proporcionar terminalidade específica para aqueles que não atingiram o nível necessário devido a deficiências e oferecer aceleração de estudos para os superdotados (LEGISLACAO, 2023).

**1999 – Decreto nº 3.298** - Dispõe sobre a Política Nacional para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, estabelecendo a educação especial como uma modalidade transversal a todos os níveis e modalidades de ensino, destacando sua atuação complementar ao ensino regular (LEGISLACAO, 2023).

**2001 – Resolução CNE/CEB nº 2** - O Conselho Nacional de Educação estabeleceu as Diretrizes Nacionais para a Educação Especial na Educação Básica, destacando a obrigatoriedade de matricular todos os alunos e a necessidade de as escolas se organizarem para atender às diversas necessidades educacionais especiais (LEGISLACAO, 2023).

**2008 – Decreto nº 6.571** - O decreto regulamenta o Atendimento Educacional Especializado (AEE) na Educação Básica, conceituando-o como um conjunto organizado de atividades e recursos complementares à formação regular dos alunos. Estabelece a responsabilidade da União em prover apoio técnico e financeiro aos sistemas públicos de ensino para a implementação do AEE, destacando a necessidade de integração dessa modalidade ao projeto pedagógico da escola (LEGISLACAO, 2023).

**2009 – Resolução nº 4 CNE/CEB** - A resolução visa orientar a implementação do Atendimento Educacional Especializado (AEE) na Educação Básica, priorizando a realização no contraturno, preferencialmente em salas de recursos multifuncionais nas escolas regulares. A resolução do CNE serve de orientação para os sistemas de ensino cumprirem o Decreto Nº 6.571 (LEGISLACAO, 2023).

**2011 – Decreto nº 7.611** - O texto revoga o decreto Nº 6.571 de 2008 e estabelece novas diretrizes para a responsabilidade do Estado com a Educação das pessoas público-alvo da Educação Especial. Destaca a inclusão em todos os níveis do sistema educacional, o aprendizado ao longo da vida e proíbe a exclusão sob alegação de deficiência. Reforça a gratuidade e obrigatoriedade do Ensino Fundamental, com adaptações razoáveis e apoio individualizado, priorizando a oferta na rede regular de ensino para alcançar a meta de inclusão

plena(BRASIL, 2012).

**2012 – Lei nº 12.764** - A lei institui a Política Nacional de Proteção dos Direitos da Pessoa com Transtorno do Espectro Autista(BRASIL, 2012).

**2013 – Lei nº 12.796** - Altera o texto do artigo 4º do inciso III da Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Onde antes se lia "atendimento educacional especializado gratuito aos educandos com necessidades especiais, preferencialmente na rede regular de ensino;", agora se lê "atendimento educacional especializado gratuito aos educandos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades ou superdotação, transversal a todos os níveis, etapas e modalidades, preferencialmente na rede regular de ensino(BRASIL, 2013).

**2014 – Lei nº 13.005** - A lei preconiza o acesso à educação básica e ao atendimento educacional especializado, preferencialmente na rede regular de ensino, para a população de 4 a 17 anos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades ou superdotação. Isso inclui a garantia de um sistema educacional inclusivo, salas de recursos multifuncionais, classes, escolas ou serviços especializados, tanto públicos quanto conveniados(BRASIL, 2014).

**2015 – Lei nº 13.146** - É instituída A Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência) que no âmbito da educação assegura o direito à educação inclusiva em todos os níveis, ao longo da vida, para alcançar o máximo desenvolvimento das habilidades da pessoa com deficiência. O Estado, a família, a comunidade escolar e a sociedade têm o dever de garantir uma educação de qualidade, protegendo a pessoa com deficiência contra violência, negligência e discriminação(BRASIL, 2019).

**2020 – Decreto nº 10.502** - O decreto estabelece a Política Nacional de Educação Especial, buscando equidade, inclusão e aprendizado ao longo da vida. Contudo, sua disposição de promover escolas e classes exclusivas para pessoas com deficiência é criticada por contrariar os princípios da educação inclusiva e negligenciar a importância da diversidade nos ambientes escolares(BRASIL, 2020).

**2021 – Lei nº 14.254** - A lei assegura apoio abrangente a alunos com transtorno de aprendizagem. O Artigo 1º da lei especifica quais alunos têm direito ao Atendimento Educacional Especializado, possibilitando a assistência a diversos transtornos de aprendizagem. Segundo o artigo, o poder público é encarregado de criar e manter um programa completo de acompanhamento para estudantes com dislexia, Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH) ou outros transtornos de aprendizagem.(BRASIL, 2021).

**2023 – Decreto nº 11370** - Revoga o Decreto nº 10.502, de 30 de

setembro de 2020, que institui a Política Nacional de Educação Especial: Equitativa, Inclusiva e com Aprendizado ao Longo da Vida(BRASIL, 2023).

### 2.1.1.2

#### Os números da Educação Especial no Brasil

Segundo (BRASIL, 2019), (BRASIL, 2022), (BRASIL, 2008), (BRASIL, 2012) e (NASCIMENTO et al., 2014), o público da educação especial é a pessoa com deficiência (PcD), com Transtorno do Espectro Autista e com altas habilidades ou superdotação, onde o TEA e as altas habilidades ou superdotação se enquadram na deficiência intelectual.

Os números apresentados a seguir foram obtidos de estudos dos microdados do Censo Escolar de 2019 e 2022, realizado pelo INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira(SALLORENZO, 2023)(VIZZOTTO, 2020). Os tipos de deficiências coletadas no Censo Escolar são: deficiência física, deficiência auditiva e surdez, deficiência visual, cegueira, baixa visão, deficiência intelectual, surdocegueira, deficiência múltipla(BRASIL, 2022).

Os dados mais atualizados da pesquisa que analisou o Censo Escolar de 2022 mostra um aumento de 63% na matrícula de alunos público-alvo da educação especial na educação infantil e no ensino fundamental em um período de 12 anos houve um aumento de 413% contínuo(SALLORENZO, 2023), como pode ser observado nas Figuras 2.1 e 2.2.

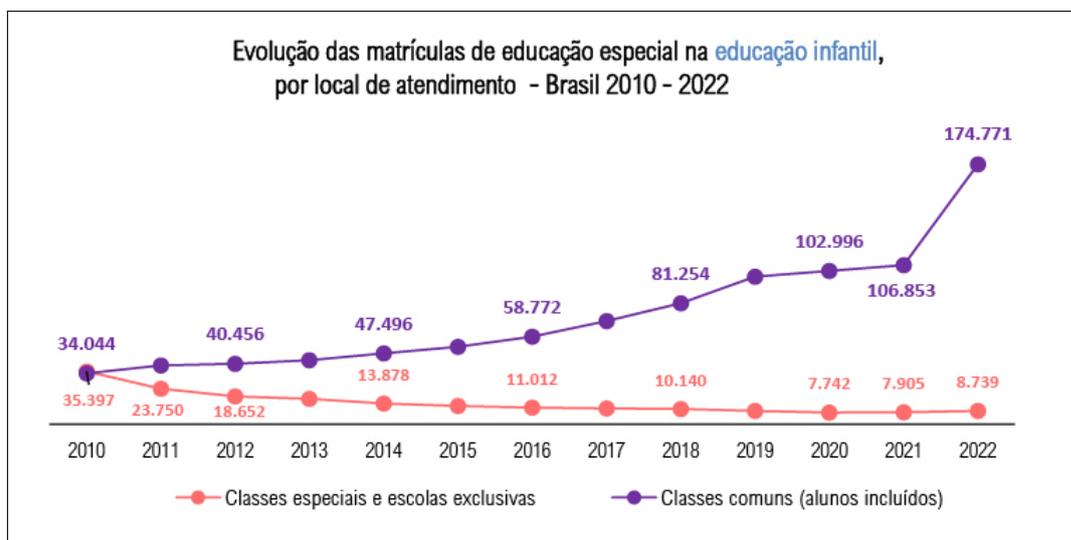


Figura 2.1: Evolução das matrículas de educação especial no Ensino Infantil, INEP 2022. Fonte: (SALLORENZO, 2023)

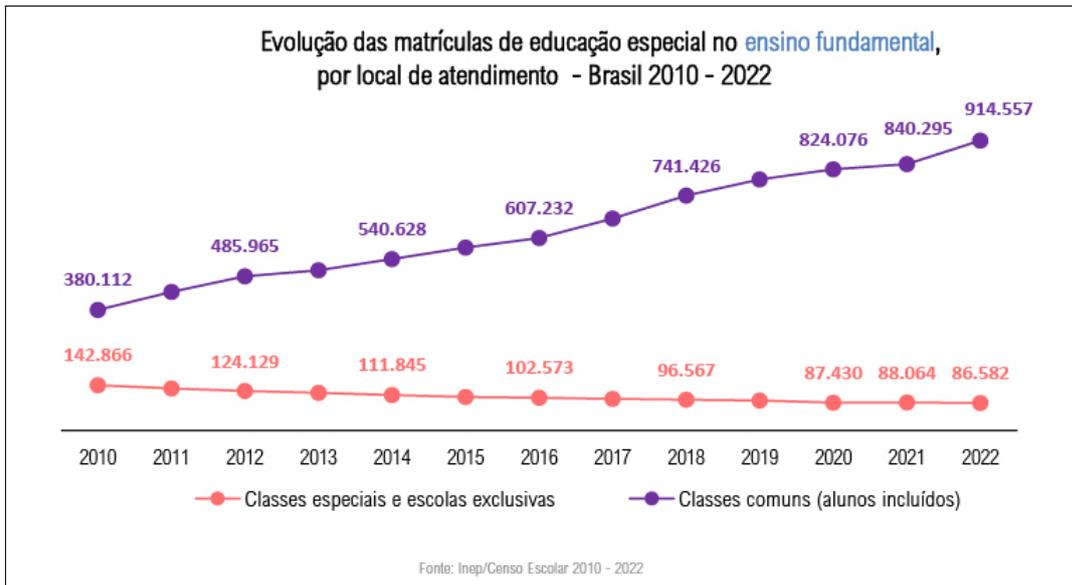


Figura 2.2: Evolução das matrículas de educação especial no Ensino Fundamental, INEP 2022. Fonte: (SALLORENZO, 2023)

O aumento nas matrículas de alunos público-alvo da educação especial é uma tendência que se observa desde a década de 1990, impulsionada pela implementação de políticas voltadas para a promoção da educação inclusiva. Essas iniciativas foram influenciadas por documentos importantes, como a Declaração Mundial de Educação para Todos (1990) e a Declaração de Salamanca (1994) da ONU, além de marcos legislativos nacionais como o artigo 55 do Estatuto da Criança e do Adolescente (Lei nº. 8.069/90), a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) de 1996 e o Plano Nacional de Educação (PNE) de 2001.

Como resultado desse movimento, foram estabelecidas a Política Nacional de Educação Especial pelo Ministério da Educação em 2008 e a Lei Brasileira de Inclusão em 2015, ambas com o objetivo de definir metas e diretrizes para a inclusão de pessoas com deficiência no sistema educacional (SALLORENZO, 2023).

Essas pesquisas mostram que o público-alvo da educação especial, em sua grande maioria, apresenta dificuldades intelectuais. Já em relação às demandas para atendimento desses alunos, *“o recurso de auxílio mais demandado é o profissional leitor, e o Atendimento Educacional Especializado mais requisitado envolve o desenvolvimento de funções cognitivas”* (VIZZOTTO, 2020).

Observando-se a Figura 2.3, é possível perceber que as duas principais categorias de necessidades especiais estão relacionadas a condições de natureza intelectual, totalizando mais de 70% das declarações no censo (VIZZOTTO, 2020).

Necessidade especial	Frequência	Percentual
Deficiência intelectual	1233971	58,25
Autismo	265440	12,53
Deficiência física	207665	9,80
Deficiência múltipla	123145	5,81
Baixa visão	105737	4,99
Superdotação	77717	3,67
Deficiência auditiva	55961	2,64
Surdez	36330	1,71
Cegueira	11682	0,55
Surdocegueira	773	0,04

Figura 2.3: Distribuição das necessidades especiais na Educação Básica, INEP 2019. Fonte: (VIZZOTTO, 2020)

O público-alvo da educação especial tem direito ao AEE - Atendimento Educacional Especializado, que tem como objetivo auxiliar o aluno deficiente no seu cotidiano escolar. Resumidamente, o profissional do AEE, realiza a mediação pedagógica para que o aluno com necessidades educacionais específicas tenha acesso ao currículo (BRASIL, 2012) (BRASIL, 2008) (BRASIL, 2022).

Concomitantemente ao fato de que as deficiências intelectuais são as mais frequentes na Educação Básica, observa-se na tabela que o AEE mais demandado está relacionado a essas condições representando quase 22% de todos os AEE (VIZZOTTO, 2020), conforme é mostrado na Figura 2.4.

Atendimento Educacional Especializado (AEE)	Frequência	Percentual
Desenvolvimento de funções cognitivas	408739	21,87
Desenvolvimento de vida autônoma	316842	16,95
Ensino das técnicas de cálculo no Soroban	291577	15,60
Enriquecimento curricular	291577	15,60
Ensino da informática acessível	160505	8,59
Ensino de técnicas de orientação e mobilidade	112979	6,04
Ensino do uso da comunicação alternativa e aumentativa	101447	5,43
Ensino do uso de recursos ópticos e não ópticos	65386	3,50
Ensino da Língua Portuguesa como segunda língua	53331	2,85
Ensino da Língua Brasileira de Sinais	41521	2,22
Ensino do sistema Braille	25455	1,36

Figura 2.4: Demanda por atendimento educacional especializado, INEP 2019. Fonte: (VIZZOTTO, 2020)

### 2.1.1.3

#### Programas de Educação Inclusiva do Setor Público

A implementação da educação inclusiva no setor público ocorre por meio de três iniciativas principais: o programa Salas de Recursos Multifuncionais,

presente em instituições de ensino municipais e estaduais; o projeto Incluir, um programa de educação inclusiva direcionado às instituições federais de ensino superior; e o NAPNE, um programa destinado às instituições federais de ensino. Uma breve descrição de cada programa é apresentada a seguir.

### **Salas de Recursos Multifuncionais**

Conforme destacado por (BRASIL, 2018), a Sala de Recursos representa um espaço cuidadosamente organizado, equipado com equipamentos de informática, ajudas técnicas, materiais pedagógicos e mobiliário adaptado, destinado a atender às necessidades educacionais especiais dos alunos. Essa iniciativa visa proporcionar um ambiente inclusivo e personalizado, favorecendo o desenvolvimento acadêmico e social dos estudantes.

O principal modelo de Salas de Recursos no Brasil foi concebido pelo Ministério da Educação (MEC) por meio da Portaria Normativa nº 13/2007 (BRASIL, 2018), que estabelece o "Programa de Implantação de Salas de Recursos Multifuncionais". Esse modelo não apenas busca suprir as demandas específicas dos alunos com deficiências, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades/superdotação, mas também desempenha um papel crucial na promoção da inclusão e igualdade educacional.

Essas salas, com sua estrutura adaptada, tornam-se pontos centrais para a realização do Atendimento Educacional Especializado (AEE) (BRASIL, 2008b). Educadores especializados desempenham um papel fundamental como mediadores entre os alunos público-alvo da Educação Especial, suas famílias e os professores das salas de aula regulares. Através desse apoio, busca-se integrar os estudantes de forma eficaz nas dinâmicas pedagógicas, contribuindo para o fortalecimento do processo de inclusão educacional nas diversas etapas de ensino, desde a educação infantil até a educação superior.

Esse modelo, amplamente difundido nos âmbitos municipais e estaduais, destaca-se como um marco normativo essencial para a promoção de uma educação mais inclusiva e igualitária no Brasil.

### **Projeto Incluir**

Com o propósito de promover a educação inclusiva nas Instituições Federais de Ensino Superior (Ifes), o governo federal, por meio dos decretos nº 5.296/2004 e nº 5.626/2005, além do edital INCLUIR 04/2008, publicado no Diário Oficial da União nº 84, seção 3, páginas 39 e 40, de 5 de maio de 2008, instituiu o Programa de Acessibilidade na Educação Superior, conhecido como Incluir. Este programa visa implementar ações que garantam o acesso pleno de pessoas com deficiência às Ifes.

O Incluir concentra-se primordialmente em estimular a criação e consolidação de Núcleos de Acessibilidade nas Ifes. Estes núcleos são responsáveis por organizar iniciativas institucionais que visam integrar pessoas com deficiência à vida acadêmica, eliminando barreiras comportamentais, pedagógicas, arquitetônicas e de comunicação (BRASIL, 2023). Dessa forma, o programa não apenas busca melhorar o acesso dessas pessoas a todos os espaços, ambientes, ações e processos desenvolvidos na instituição, mas também procura integrar e articular as diversas atividades em prol da inclusão educacional e social (MACIEL; ANACHE, 2017).

### **NAPNE**

Conforme (SONZA; VILARONGA; MENDES, 2020), os NAPNEs (Núcleos de Atendimento/Apoio às Pessoas com Necessidades Específicas) são iniciativas da Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica do Ministério da Educação (SETEC/MEC), por meio do Programa TECNEP (Tecnologia, Educação e Profissionalização para Pessoas com Necessidades Educacionais Específicas). O objetivo é consolidar uma política de educação inclusiva nas Instituições Federais de Ensino, abrangendo desde a educação básica até o ensino técnico e tecnológico. Os NAPNEs atuam diretamente no ambiente escolar, disseminando conceitos, divulgando experiências e sensibilizando as comunidades escolares para a questão das necessidades específicas.

De acordo com (NASCIMENTO; PORTES, 2016), a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica (RFEPCT) conta com NAPNEs em diversas instituições, ultrapassando o número de 600 núcleos em funcionamento. É importante ressaltar que a implementação e a atuação dos NAPNEs podem variar de instituição para instituição, mas, de modo geral, eles desempenham um papel crucial na promoção da inclusão e na garantia de igualdade de oportunidades no ambiente educacional.

Apesar de o NAPNE abranger a educação básica em mais de 660 instituições federais de ensino (BRASIL, 2024), é relevante ressaltar que somente o Colégio Pedro II (CPII) abrange todos os níveis de ensino. Além de oferecer a educação básica, compreendida pela educação infantil, ensino fundamental e médio, o CPII também se destaca ao proporcionar ensino superior por meio de cursos de graduação e pós-graduação. Esta abrangência destaca o CPII como uma instituição que atua de maneira abrangente em todos os níveis educacionais, reforçando seu compromisso com a inclusão e igualdade de oportunidades.

### **Profissionais de Apoio do NAPNE**

Os NAPNEs contam com uma equipe multidisciplinar composta por profissionais de apoio, que desempenha um papel fundamental na promoção da inclusão e na garantia de igualdade de oportunidades no ambiente educacional. Esses profissionais atuam diretamente no ambiente escolar, disseminando conceitos, divulgando experiências e sensibilizando as comunidades escolares para a questão das necessidades específicas. Além disso, eles são responsáveis por organizar iniciativas institucionais que visam integrar pessoas com deficiência à vida acadêmica, eliminando barreiras comportamentais, pedagógicas, arquitetônicas e de comunicação.

Os NAPNEs também contam com os professores de Atendimento Educacional Especializado (AEE), que são profissionais altamente qualificados e capacitados para oferecer suporte individualizado e adaptado às necessidades específicas de cada aluno (BRASIL, 2008). Esses professores têm a responsabilidade de desenvolver e implementar planos de ensino personalizados, que visam atender às necessidades de aprendizagem e desenvolvimento de cada aluno (BRASIL, 2014b). Os professores de AEE trabalham em estreita colaboração com outros profissionais da educação, como os professores de sala de aula regular, para garantir que os alunos com necessidades especiais recebam o apoio necessário para alcançar seu pleno potencial acadêmico e social (BRASIL, 2008a). Eles também colaboram com os pais e cuidadores dos alunos para desenvolver estratégias eficazes de apoio dentro e fora do ambiente escolar (BRASIL, 2014a). Além de oferecer suporte acadêmico, os professores de AEE também auxiliam os alunos no desenvolvimento de habilidades sociais, emocionais e adaptativas (BRASIL, 2008c), criando um ambiente inclusivo e acolhedor onde todos os alunos se sintam valorizados e respeitados (BRASIL, 2014b). Os professores de AEE estão constantemente se atualizando sobre as melhores práticas e estratégias de ensino, garantindo que possam oferecer o melhor suporte possível aos seus alunos (BRASIL, 2008).

#### **2.1.2**

#### **Transtornos/Distúrbios de Aprendizagem**

De acordo com (SEABRA, 2020),

*“[...]Transtorno pode ser compreendido como um conjunto de sintomas que manifestam um quadro clínico, apresentando uma alteração de saúde que nem sempre está vinculada a uma doença. Já o Distúrbio se configura como um mal funcionamento de um órgão ou sistema específico.”*

Como destacado por (SEABRA, 2020), as dificuldades relacionadas aos Transtornos/Distúrbios de Aprendizagem têm uma base neurobiológica, requerendo avaliação de uma equipe multidisciplinar para diagnóstico. Essas dificuldades persistem independentemente de fatores culturais e socioeconômicos, manifestando-se como comportamento persistente mesmo após a aplicação de vários métodos pedagógicos.

A ferramenta amplamente utilizada por profissionais de saúde mental para identificar e categorizar diferentes condições psiquiátricas, o DSM-V (NASCIMENTO et al., 2014), abreviação de Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais - Quinta Edição, publicação da Associação Americana de Psiquiatria (APA), oferece critérios e classificações para diagnóstico de transtornos mentais, apresentando uma lista abrangente de transtornos e distúrbios de aprendizagem reconhecidos. Conforme mencionado em (SEABRA, 2020), embora as palavras "transtorno" e "distúrbio" se refiram a fenômenos distintos, ambas são empregadas no DSM-V para descrever o comportamento de crianças que enfrentam desafios na aprendizagem.

Na tabela 2.1, estão listados os transtornos mais comentados nos meios educacionais, de acordo com (SEABRA, 2020), o qual ressalta que alguns transtornos compartilham características semelhantes, e as abordagens terapêuticas direcionadas a um transtorno específico podem ser aplicáveis a outros transtornos.

Tabela 2.1: Transtornos mais comentados nos meios educacionais (SEABRA, 2020)

Transtorno	Breve definição
Transtorno de Aprendizagem da Leitura (Dislexia do Desenvolvimento)	Dificuldade específica na aprendizagem da leitura e escrita, incluindo problemas com a precisão ou fluência na leitura, decodificação, soletração e compreensão de palavras
Transtorno de Aprendizagem da Matemática (Discalculia Matemática)	Dificuldade específica na aprendizagem de habilidades matemáticas, envolvendo dificuldades em entender conceitos matemáticos, realizar cálculos, compreender o raciocínio matemático e resolver problemas matemáticos. Embora o DSM-V (APA, 2014) tenha associado este transtorno/distúrbio com a dislexia
Continua na próxima página	

Tabela 2.1 – Continuação da página anterior

<b>Transtorno</b>	<b>Breve definição</b>
Transtorno de Aprendizagem da Escrita (Disgrafia)	Dificuldades específicas na aprendizagem da escrita, envolvendo problemas na coordenação motora e na expressão escrita, ocorrendo variação nas formas de uma mesma letra e fragmentações inadequadas nas palavras
Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH)	Caracterizado por dificuldades de atenção, hiperatividade e impulsividade que interferem no funcionamento ou desenvolvimento. Mesmo que não seja considerado um transtorno/distúrbio de aprendizagem, geralmente impacta negativamente na aprendizagem
Transtorno do Espectro Autista (TEA) <sup>(1)</sup>	Engloba uma variedade de desafios sociais, comunicativos e comportamentais, variando de leve a grave
Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC)	Dificuldade na coordenação motora que interfere nas atividades diárias e na aprendizagem
Transtorno de Aprendizagem Não-Verbal (TANV)	Caracterizado por dificuldades significativas na compreensão e processamento de informações não verbais
<p>(1) Apesar do TEA aparecer listado nesta tabela, reconhecido como um transtorno de aprendizagem, a partir da lei de nº 12.764, promulgada em 2012, "a pessoa com transtorno do espectro autista é considerada pessoa com deficiência, para todos os efeitos legais" (Artigo 1º, parágrafo 2º), e possui o direito à educação especial(NASCIMENTO et al., 2014)(BRASIL, 2012)(SEABRA, 2020).</p>	

### 2.1.2.1 TDAH

O Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH), também conhecido como Distúrbio do Déficit de Atenção (DDA) em português ou ADD, ADHD ou AD/HD em inglês, é uma condição neurológica de origem genética que se manifesta na infância e tende a persistir ao longo da vida, resultando em prejuízos no funcionamento social, acadêmico e profissional(LV et al., 2023)(COELHO et al., 2010)(CHRISTIANSEN et al., 2019)(NASCIMENTO et al., 2014)(SEABRA, 2020). Suas principais características incluem desaten-

ção, inquietação e impulsividade (ABDA, 2018) (ABDA, 2017) (NASCIMENTO et al., 2014). Este transtorno é reconhecido oficialmente por muitos países e pela Organização Mundial da Saúde (OMS), e em alguns lugares, como nos Estados Unidos, os indivíduos com TDAH têm proteção legal para receber tratamento especial na escola. De acordo com (ABDA, 2017), o TDAH é o transtorno mais comum entre crianças encaminhadas para serviços especializados, afetando entre 3 a 10% delas.

O TDAH é caracterizado por uma combinação de dois tipos de sintomas:

- **Desatenção:** Os sintomas de desatenção podem se manifestar de várias maneiras, como dificuldade em manter a concentração por períodos prolongados, esquecimento do conteúdo lido ou perda do foco durante conversas. Esses sintomas podem resultar em erros simples durante provas, mesmo em matérias conhecidas pelo estudante (ABDA, 2017).
- **Hiperatividade e Impulsividade:** A hiperatividade é caracterizada pelo aumento da atividade motora, levando a pessoa a estar constantemente inquieta e em movimento (ABDA, 2017). No contexto do TDAH na infância, geralmente estão presentes dificuldades escolares e de relacionamento com colegas, pais e professores. Os sintomas de hiperatividade e impulsividade são mais comuns em meninos do que em meninas, embora todos sejam propensos à desatenção. Estas crianças geralmente têm dificuldade em ficar sentadas e podem demonstrar agitação movimentando as mãos, os pés ou até adormecendo se forem forçadas a permanecerem sentadas (ABDA, 2018). Como relatado por (ABDA, 2017), “Uma criança mais hiperativa nem mesmo para comer consegue sentar, quanto mais para assistir a um programa de televisão, ler um livro ou uma revista”.

Apresentar sintomas de hiperatividade não é necessariamente indicativo de TDAH, uma vez que esses sintomas podem ser encontrados em vários transtornos psiquiátricos. Embora a hiperatividade seja comum na maioria dos casos de TDAH, é importante notar que este transtorno pode ocorrer mesmo na ausência desse sintoma específico (NASCIMENTO et al., 2014). Estudos sugerem que até 70% das crianças com TDAH apresentam simultaneamente outros transtornos (BRASIL, 2022).

Conforme (ABDA, 2017), “Impulsividade é caracterizada pela falta de controle dos impulsos, manifestando-se como *agir antes de pensar*”. Um impulso é uma resposta automática e imediata a um estímulo. No caso do TDAH, as reações ocorrem rapidamente e sem reflexão, o que pode levar a comportamentos impulsivos. O controle desses impulsos é crucial para evitar ações

prejudiciais (ABDA, 2017). Pessoas com impulsividade muitas vezes experimentam reações explosivas repentinas, porém, logo se arrependem. Essa característica pode ajudar a distinguir o TDAH de outros transtornos, nos quais a raiva persiste por um período mais prolongado (ABDA, 2018).

De acordo o DSM-V, para o diagnóstico de TDAH é necessário que o indivíduo apresente no mínimo 6 dos 9 sintomas de desatenção e/ou no mínimo 6 dos 9 sintomas de hiperatividade e impulsividade (NASCIMENTO et al., 2014) (ABDA, 2017). A seguir são apresentados alguns dos sinais relacionados à desatenção, hiperatividade e impulsividade, estabelecidos pelo DSM-V, além de alguns dos impactos associados ao TDAH.

### **Sinais de Desatenção**

Os seguintes comportamentos são observados com frequência, não de forma esporádica (ABDA, 2017):

- Falha em prestar atenção aos detalhes, resultando em erros descuidados em atividades escolares, profissionais ou outras. Por exemplo, um aluno pode cometer erros em uma prova por não revisar suas respostas.
- Dificuldade em manter a atenção em tarefas ou atividades, especialmente em situações que exigem concentração prolongada, como a leitura. Indivíduos com TDAH podem evitar a leitura devido a essa dificuldade.
- Parece não ouvir quando lhe dirigem a palavra, o que pode levar a mal-entendidos nas interações sociais.
- Dificuldade em seguir instruções e completar tarefas escolares, domésticas ou profissionais. Por exemplo, um aluno pode não conseguir compreender completamente as instruções de uma questão e tentar adivinhá-la.
- Desorganização em relação a tarefas e atividades, resultando em dificuldade para priorizar e planejar.
- Evitação ou relutância em participar de tarefas que requerem esforço mental constante, como trabalhos escolares ou tarefas domésticas. Alunos com TDAH podem procrastinar suas tarefas até o último minuto.
- Perda frequente de objetos necessários para tarefas ou atividades, como materiais escolares. Indivíduos com TDAH podem ter dificuldade em lembrar onde guardaram seus pertences.
- Distração por estímulos externos durante a execução de uma tarefa, levando à perda de foco.
- Esquecimento frequente de atividades diárias, como transmitir mensagens ou comprar itens em uma lista.

### **Sinais de Hiperatividade**

De acordo com (ABDA, 2017) e (NASCIMENTO et al., 2014), os seguintes comportamentos são observados com frequência, não apenas ocasionalmente:

- Movimenta constantemente as mãos ou os pés, ou se contorce na cadeira. Isso pode incluir o balançar das pernas ou o bater dos pés no chão.
- Frequentemente se levanta da cadeira em situações em que se espera que permaneça sentado, como na sala de aula.
- Demonstram comportamentos de correr ou escalar objetos e móveis de forma inadequada. Em adolescentes e adultos, isso pode se manifestar como uma sensação subjetiva de inquietação.
- Falam excessivamente e têm dificuldade em ouvir os outros, mas podem contribuir para um ambiente animado devido à sua energia e entusiasmo.
- Evitam frequentemente envolver-se em atividades que requerem calma ou tranquilidade.

### **Sinais de Impulsividade**

A manifestação frequente dos seguintes comportamentos:(ABDA, 2017):

- Responde precipitadamente sem ouvir completamente a pergunta.
- Tem dificuldade em aguardar sua vez, seja em uma fila ou ao dirigir um carro. Também pode ter dificuldade em esperar o momento apropriado para expressar sua opinião ou tomar decisões.
- Interrompe ou se intromete em conversas ou atividades de outras pessoas sem ser convidado.

### **Impactos do TDAH**

Como apontado por (ABDA, 2017) e (NASCIMENTO et al., 2014), alguns dos impactos associados ao Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade incluem:

- Dificuldades no desempenho acadêmico são frequentemente observadas como uma das primeiras consequências desse transtorno, sendo considerado uma das principais causas de insucesso escolar.
- Dificuldades em estabelecer e manter relacionamentos interpessoais são comuns entre indivíduos com TDAH.
- Devido às dificuldades mencionadas anteriormente, é comum que as pessoas afetadas desenvolvam baixa autoestima.

- Problemas profissionais, como instabilidade no emprego, demissões frequentes e subutilização do potencial, são frequentemente relatados por indivíduos com TDAH.
- Indivíduos com TDAH têm maior propensão ao uso de álcool e drogas, pois essas substâncias podem temporariamente aliviar alguns dos sintomas associados ao transtorno.
- Estatisticamente, é observado um maior risco de envolvimento em vários tipos de acidentes, incluindo acidentes de trânsito, entre pessoas com TDAH.
- Além disso, essas pessoas apresentam maior susceptibilidade ao desenvolvimento de outros transtornos psiquiátricos, como depressão e transtornos de ansiedade.

### 2.1.2.2

#### TEA

O Transtorno do Espectro Autista (TEA) é caracterizado por déficits persistentes na comunicação social e na interação social em diversos contextos. Isso engloba dificuldades na reciprocidade social, em comportamentos não verbais utilizados para interação e em habilidades para desenvolver, manter e compreender relacionamentos. Além disso, para o diagnóstico, é necessário observar a presença de padrões restritos e repetitivos de comportamento, interesses ou atividades (NASCIMENTO et al., 2014) (PAULA, 2023) (LIMA et al., 2023).

No último DSM, publicado em 2013, os transtornos autista, de Asperger e global do desenvolvimento foram consolidados em uma única categoria: o Transtorno do Espectro Autista. Os sintomas anteriormente associados a esses transtornos são agora considerados parte de um continuum único, variando em intensidade de leve a grave nos aspectos de comunicação social e comportamentos restritivos e repetitivos (NASCIMENTO et al., 2014).

O TEA é caracterizado por padrões restritos e repetitivos de comportamento, interesses ou atividades, que variam em intensidade e foco de acordo com a idade e habilidade da pessoa, além das intervenções e apoios atuais. Esses padrões incluem comportamentos estereotipados, repetitivos ou ritualizados, como movimentos motores simples, uso repetitivo de objetos e fala repetitiva. Há uma tendência a aderir excessivamente a rotinas e padrões restritos de comportamento, manifestados por resistência a mudanças e rigidez de pensamento. Os interesses tendem a ser altamente limitados e fixos, muitas vezes apresentando intensidade ou foco anormais. Além disso, pode haver

uma sensibilidade incomum a estímulos sensoriais, como resposta extrema a sons, texturas ou luzes, e reações extremas ou rituais relacionados a gostos alimentares(NASCIMENTO et al., 2014)(PAULA, 2023).

Muitos indivíduos com TEA podem apresentar comprometimento intelectual e/ou linguístico, como atraso na fala ou compreensão da linguagem aquém da produção. Mesmo os que têm inteligência média ou alta, geralmente possuem um perfil irregular de habilidades, com uma grande discrepância entre suas capacidades funcionais adaptativas e intelectuais. Além disso, é comum observar déficits motores, incluindo marcha atípica, falta de coordenação e outros sinais motores anormais, como caminhar na ponta dos pés(NASCIMENTO et al., 2014).

Segundo (SALGADO et al., 2022), este transtorno é prevalente entre crianças encaminhadas para serviços especializados, afetando entre 3% e 10% delas.

### **Os sintomas do TEA**

As características associadas ao TEA incluem prejuízo persistente na comunicação social recíproca e na interação social, bem como padrões restritos e repetitivos de comportamento, interesses ou atividades. Esses sintomas estão presentes desde a infância e afetam o funcionamento diário. As manifestações do transtorno variam de acordo com a gravidade, nível de desenvolvimento e idade cronológica, abrangendo uma ampla gama de condições antes conhecidas por outros nomes, como autismo infantil precoce, autismo de Kanner, autismo de alto funcionamento e transtorno de Asperger(NASCIMENTO et al., 2014)(LIMA et al., 2023).

O DSM-V classifica o Transtorno do Espectro Autista em três níveis de gravidade: Nível 1 de suporte, que requer pouco apoio; Nível 2 de suporte, que demanda mais assistência; e Nível 3 de suporte, que necessita de apoio na maior parte do tempo. Cada um desses níveis é detalhadamente descrito nas Tabelas 2.2, 2.3 e 2.4, respectivamente, onde são fornecidas as informações específicas sobre os aspectos de comunicação social e comportamentos restritivos e repetitivos em cada um deles.

Tabela 2.2: Nível 1 de suporte: com pouco apoio

<b>Comunicação Social</b>	<b>Comportamentos restritivos e repetitivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldades na comunicação social</li> <li>- Respostas atípicas ou sem sucesso diante de aberturas sociais dos outros</li> <li>- Apresenta pouco interesse em interações sociais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inflexibilidade de comportamento interfere significativamente no funcionamento em um ou mais contextos</li> <li>- Dificuldade em mudar de uma atividade para outra</li> <li>- Problemas de organização e planejamento dificultam a independência.</li> </ul>

Tabela 2.3: Nível 2 de suporte: com muito apoio

<b>Comunicação Social</b>	<b>Comportamentos restritivos e repetitivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muitas dificuldades na comunicação social verbal e não verbal</li> <li>- Resposta reduzida ou anormal a aberturas sociais que partem de outros</li> <li>- Mesmo com apoio apresenta grande dificuldade em dar início a interações sociais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rigidez comportamental</li> <li>- Não aceita bem mudanças</li> <li>- Os comportamentos restritos/repetitivos são percebidos pelas pessoas</li> <li>- Dificuldade em mudar o foco ou as ações, muitas vezes acompanhada de sofrimento</li> </ul>

Tabela 2.4: Nível 3 de suporte: com apoio na maior parte do tempo

Comunicação Social	Comportamentos restritivos e repetitivos
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldades extremas na comunicação social verbal e não verbal</li> <li>- Dificuldade extrema em dar início a interações sociais, mesmo com apoio constante</li> <li>- Dificuldade extrema na resposta às aberturas sociais que partem de outros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extrema rigidez comportamental</li> <li>- Extrema dificuldade em lidar com a mudança</li> <li>- Comportamentos restritivos/repetitivos provocam grandes prejuízos em todas as esferas</li> <li>- Extremo sofrimento/dificuldade para mudar o foco ou as ações</li> </ul>

Um dos fatores mais evidentes no TEA é o fator genético, presente em 81% da população afetada, embora o transtorno possa ter múltiplas causas (MARTINI et al., 2024).

As características comportamentais do TEA geralmente se manifestam na primeira infância. Alguns casos mostram falta de interesse em interações sociais já no primeiro ano de vida. Em alguns casos, há uma regressão no desenvolvimento, com uma deterioração gradual ou rápida em comportamentos sociais ou uso da linguagem, frequentemente ocorrendo nos primeiros dois anos de vida. Essas perdas são incomuns em outros transtornos e podem servir como um sinal de alerta para o transtorno do espectro autista (NASCIMENTO et al., 2014).

Para diagnosticar o Transtorno do Espectro Autista é essencial observar dificuldades em duas áreas: “Comunicação social” e “Comportamentos restritos, repetitivos e/ou sensoriais”. A criança deve apresentar dificuldades nessas áreas ou exibir características do autismo desde cedo, mesmo que os sinais possam diminuir mais tarde na infância (NASCIMENTO et al., 2014).

### Alguns sinais do TEA

Alguns sinais relacionados à deficiência social, dificuldade de linguagem e comunicação, bem como comportamentos repetitivos e/ou restritivos, conforme estabelecido pelo DSM-V, incluem:

- **Interação social e comunicação social:** A criança apresenta frequentemente as seguintes características:

1. Dificuldade em iniciar ou manter uma conversa. Podem parecer desinteressados em interações sociais ou ter dificuldade em entender as regras básicas de uma conversa.
  2. Dificuldade em compartilhar emoções ou afeto, o que pode prejudicar suas interações sociais e dificultar o estabelecimento de vínculos emocionais com os outros.
  3. Dificuldade em reconhecer expressões faciais ou linguagem corporal dos outros, o que pode resultar em mal-entendidos.
  4. Dificuldades em entender pistas sociais e em responder adequadamente às interações sociais, o que pode levar a respostas inadequadas às interações.
  5. Dificuldade em compreender sutilezas de linguagem, piadas ou sarcasmo. Não entendem figuras de linguagem, por exemplo, o que pode resultar em interpretações literais de linguagem ou em mal-entendidos.
  6. Interesses limitados e intensos em tópicos específicos, muitas vezes incomuns ou não convencionais, o que pode dificultar sua capacidade de se envolver em conversas ou atividades sociais mais amplas.
  7. Dificuldade em se comunicar verbalmente. Alguns indivíduos podem não se comunicar verbalmente ou podem enfrentar dificuldades significativas na expressão de seus pensamentos e sentimentos através da fala.
- **Comportamentos restritivos e/ou repetitivos:** A pessoa apresenta com frequência as seguintes características:
1. Estereotipias motoras como balançar o corpo ou sacudir as mãos repetidamente.
  2. Comportamentos repetitivos, como alinhar ou girar objetos.
  3. Adesão a rotinas rígidas, preferindo sempre seguir a mesma sequência de tarefas todos os dias.
  4. Interesses fixos e altamente restritos que são anormais em intensidade ou foco, como forte apego a ou preocupação com objetos incomuns.
  5. Fala estereotipada e repetitiva.
  6. Aversão à mudança, com dificuldade em lidar com alterações na rotina, ambiente ou atividades diárias.

7. Alimentação seletiva, com preferência em ingerir os mesmos alimentos todos os dias;
8. Sensibilidade a estímulos sensoriais, como alguns barulhos e luz intensa

### 2.1.2.3

#### Números sobre TEA e TDAH

O Transtorno do Déficit de Atenção/Hiperatividade (TDAH) impacta cerca de 7% a 9% das crianças com menos de 14 anos, sendo que no Brasil, afeta de 3% a 6% das crianças em idade escolar. É considerado um dos distúrbios mais comuns na psiquiatria infantil e adolescente, com uma prevalência superior a 5% (LV et al., 2023) (CHRISTIANSEN et al., 2019).

O Transtorno do Espectro Autista (TEA) impacta 1 em cada 36 crianças de 8 anos nos EUA no ano de 2020, segundo o CDC -Centro de Controle e Prevenção de Doenças, uma agência do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos (MAENNER et al., 2023). No Brasil não temos nenhuma pesquisa ou Censo que tenha levantado esse número.

### 2.1.2.4

#### Os Transtornos e a Legislação Brasileira

Conforme a legislação educacional vigente no Brasil, crianças com transtornos/ distúrbios de aprendizagem não são categorizadas como parte do público-alvo da Educação Especial, resultando na ausência do direito ao Atendimento Educacional Especializado (AEE). De acordo com a LDB 9.394/96, em seu artigo 4º (LEGISLACAO, 2023), a educação especial deve ser oferecida na rede regular de ensino para os alunos portadores de necessidades especiais. Trocar o termo deficiência por necessidades especiais ampliava o alcance da lei. Entretanto, em 2013, uma nova alteração no texto da LDB, a lei nº 12.796 (BRASIL, 2013), retira o termo necessidades especiais e fecha as deficiências que serão atendidas, que são deficiência (intelectual, física, auditiva, visual e múltipla), transtorno do espectro autista (TEA) e altas habilidades ou superdotação (AH/SD) (SEABRA, 2020).

É importante notar que no DSM-V ocorreu uma integração entre o transtorno autista, o transtorno de Asperger e o transtorno global do desenvolvimento, sendo todos agora compreendidos dentro da categoria denominada Transtorno do Espectro Autista (TEA) (NASCIMENTO et al., 2014).

### 2.1.3 Lúdico e Educação Inclusiva

A palavra “lúdico”, frequentemente empregada no âmbito educacional, foi incorporada recentemente a alguns dicionários (CAMARGO, 2020). A definição de “lúdico” está em constante evolução, assumindo diferentes significados a cada momento e para cada autor. Embora muitos autores associem a palavra “lúdico” ao termo “jogo”, essa equivalência não é consensual entre todos.

No dicionário Michaelis, lúdico é um adjetivo que está relacionado a jogos, brinquedos ou divertimento. No ambiente pedagógico, o lúdico está relacionado a brincadeiras e divertimentos, como instrumento educativo. Neste trabalho, Atividade Lúdica é denominada como a atividade que utiliza o lúdico como instrumento educativo, externa ao sujeito e objetiva.

Segundo (MASSA, 2015), *“Para o uso satisfatório das atividades lúdicas inseridas em um contexto onde exista a emergência da ludicidade na prática educativa, faz-se necessário um mediador amadurecido emocionalmente, assim como científica e tecnicamente”*. Esse papel de mediador pode ser cumprido pelo professor de AEE.

O lúdico é uma ferramenta metodológica que pode promover a inclusão escolar, representando um momento em que a criança utiliza sua espontaneidade, expressividade e criatividade. Não se trata apenas de brincar, mas sim de brincar com intencionalidade pedagógica (FERREIRA et al., 2019).

Para muitos pesquisadores, a ludicidade é uma prática essencial no ensino-aprendizagem da Educação Especial, permitindo que as crianças expressem suas sensações e emoções por meio de atividades lúdicas. Além de garantir a inclusão do aluno Portador de Necessidades Especiais (PNE), é crucial criar condições propícias para essa inclusão efetiva (VIEIRA, 2022) (RESENDE, 2018) (LOUREIRO; AL., 2021) (FERREIRA et al., 2019).

*“É importante frisar que para esses alunos, as atividades lúdicas não consistem em uma simples forma de ocupar seu tempo, em contrapartida, a realização de tais atividades atuam como elemento significativo ao seu desenvolvimento”* [Fonseca, 2008 apud (VIEIRA, 2022)].

A escola deve explorar intensivamente o brincar, transformando-o em fonte de conhecimento. Isso implica oferecer materiais e espaços que enriqueçam a experiência da brincadeira, promovendo a criação e recriação das emoções, sentimentos e conhecimentos das crianças, adaptando-se às necessidades individuais de cada aluno (VIEIRA, 2022) (RESENDE, 2018).

A ludicidade pode ser considerada uma estratégia para aprimorar a atenção, fundamental para o processo de aprendizagem, enquanto também

promove o respeito, a confiança e uma melhor integração no grupo(VIEIRA, 2022)(RESENDE, 2018)(LOUREIRO; AL., 2021)(FERREIRA et al., 2019).

O emprego de atividades lúdicas está intimamente ligado a habilidades distintas que possibilitam ao professor diversificar sua metodologia, oferecendo uma abordagem de ensino prazerosa, visto que o lúdico pode servir como um recurso pedagógico excepcional(RESENDE, 2018)(FERREIRA et al., 2019).

Assim, a inclusão pode se concretizar nas escolas por meio da atividade lúdica, promovendo a interação e socialização dos indivíduos, com os alunos com necessidades especiais sendo aceitos, respeitados e participativos(VIEIRA, 2022)(LOUREIRO; AL., 2021)(FERREIRA et al., 2019).

O lúdico faz parte do nosso cotidiano e está presente em diversas atividades, expressando-se na filosofia, arte, pedagogia, poesia e em várias outras, demonstrando que ele não necessariamente precisa de um vencedor e um perdedor. Desta forma, este trabalho sugere atividades lúdicas e não jogos com vencedores e perdedores, com penalidades.

O objetivo das atividades lúdicas deve ser proporcionar ao aluno um momento agradável que também possa trazer aprendizado, sem que seja necessário utilizar os requisitos que definem um jogo.

O brincar é uma parte essencial da vida humana, marcado pela espontaneidade, movimento, sensibilidade e envolvimento. Na atividade lúdica, o foco não está apenas no resultado, mas nos benefícios que o indivíduo obtém em termos de movimento, socialização e participação na ação proposta(LOUREIRO; AL., 2021)(SOUZA; MOLINA, 2023).

Ao planejar as atividades, é importante que o educador levante questionamentos sobre limitações, necessidades especiais, idade, preferências, capacidades e outras particularidades, com o objetivo de promover o prazer e os efeitos positivos que os jogos podem oferecer na Educação Especial Inclusiva(RESENDE, 2018)(LOUREIRO; AL., 2021).

Em uma educação integral, os alunos com deficiência em escolas regulares esperam uma abordagem humanística, que reconheça as particularidades de cada aluno como diversidade, não como um problema. Essa perspectiva visa garantir que todas as crianças possam desfrutar das mesmas experiências e condições de aprendizagem que os demais alunos(LOUREIRO; AL., 2021).

Frequentemente, associamos uma atividade lúdica à diversão, mas nem sempre é. O que define uma atividade lúdica é a "plenitude da experiência"que ela oferece a quem a realiza. É uma atividade em que o indivíduo se entrega à experiência sem restrições mentais de qualquer natureza (RESENDE, 2018).

Para Santos (1999 apud (RESENDE, 2018)), o lúdico é uma forma pela qual o indivíduo se expressa e se integra ao seu entorno. Através das

atividades lúdicas, ele incorpora valores, adquire conhecimento em diversas áreas, desenvolve comportamentos e aprimora habilidades motoras. Além disso, aprende a assumir responsabilidades, torna-se sociável e mais crítico. O lúdico estimula o raciocínio de maneira prazerosa e reaviva a motivação para aprender.

Segundo (SOUZA; MOLINA, 2023), (VIEIRA, 2022) e (LOUREIRO; AL., 2021), é necessário criar estratégias e recursos adequados em sala de aula para promover um desenvolvimento de conhecimento mais eficaz e agradável para os alunos com necessidades especiais. Isso contribui para uma inclusão integral no ambiente escolar.

#### **2.1.4**

#### **Desenho Universal para a Aprendizagem**

A busca por uma educação inclusiva tem sido uma prioridade em muitos sistemas educacionais ao redor do mundo. Uma abordagem que tem ganho destaque nesse contexto é o Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA). Nesta seção, será explorado o que é o DUA, seus princípios fundamentais, sua definição e a relação entre o DUA e a tecnologia digital. Entender esses aspectos é crucial para promover ambientes educacionais que atendam às necessidades de todos os alunos, independentemente de suas características individuais. Serão explorados cada aspecto do DUA e como ele pode ser aplicado para criar ambientes de aprendizagem mais acessíveis, engajadores e eficazes.

##### **2.1.4.1**

#### **O que é o Desenho Universal para a Aprendizagem?**

A teoria do Desenho Universal para Aprendizagem (DUA), também conhecida como Universal Design for Learning (UDL), proposta pelo Center for Applied Special Technology (CAST)<sup>1</sup> nos Estados Unidos, tem como objetivo repensar a educação e o currículo a partir da diversidade humana. Ela busca proporcionar igualdade de oportunidades para todos os alunos, independentemente de suas habilidades e necessidades individuais (PIECZARKA; VALDIVIESO, 2023) (SILVA; JUNIOR, 2020).

Baseado em pesquisas nas áreas de neurociência, ciências da educação e psicologia cognitiva, o DUA é uma abordagem inclusiva que reconhece a diversidade dos estudantes e promove ambientes de aprendizagem flexíveis e acessíveis. Ao contrário dos currículos inflexíveis, que podem excluir alunos com diferentes habilidades e necessidades, o DUA oferece flexibilidade em objetivos, métodos, materiais e avaliações para atender às diversas necessidades dos alunos. Ele busca minimizar as barreiras à aprendizagem e maximizar o sucesso

<sup>1</sup><https://www.cast.org/>

de todos os alunos, permitindo que os educadores adaptem o currículo de acordo com as necessidades específicas de cada aluno (HUMMEL; TAVARES; TAVARES, 2021) (COSTA-RENDERS; AMARAL; OLIVEIRA, 2020).

O DUA é uma referência que corrige o principal obstáculo que os alunos precisam transpor: os currículos inflexíveis, que atenderia a todos. São precisamente esses currículos inflexíveis que geram barreiras não intencionais para o acesso ao aprendizado. Os estudantes que estão nos extremos, como os superdotados e os com altas habilidades e os estudantes com deficiência, são particularmente vulneráveis (SEBASTIÁN-HEREDERO, 2020).

Nos ambientes de aprendizagem, como escolas, a variabilidade individual é norma, e não exceção, há muita diversidade. Quando os currículos são desenhados para uma média imaginária, não se considera a variabilidade/diversidade real entre os estudantes. Esses currículos fracassam quando tentam proporcionar a todos os alunos oportunidades justas e equitativas para aprender, já que excluem aqueles com distintas capacidades, conhecimentos prévios e motivacionais que não correspondem ao critério ilusório da média (SEBASTIÁN-HEREDERO, 2020).

O DUA valoriza a diversidade dos alunos, reconhecendo que suas respostas no processo de aprendizagem são variáveis. Ao contrário de abordagens tradicionais que consideram as diferenças individuais como distrações, o DUA as trata como elementos essenciais para um ensino eficaz. Ele enfoca essas diferenças como um ponto central de atenção, reconhecendo que são fundamentais para compreender e planejar estratégias educacionais adequadas (SEBASTIÁN-HEREDERO, 2020).

Se o paradigma da inclusão exige minimizar as necessidades de adaptação curricular, ele é o fundamento central do design universal para a aprendizagem. O DUA oferece ao docente um modelo de intervenção que o ajuda a compreender como se pode criar um currículo que vá ao encontro das necessidades de todos os alunos. Busca reduzir os fatores de natureza pedagógica que dificultam o processo de ensino e aprendizagem, assegurando o acesso, a participação e o êxito acadêmico de todos os alunos (COSTA-RENDERS; GONÇALVES; SANTOS, 2021).

A metodologia do DUA possibilita a descontinuidade do formato tradicional da sala de aula do ensino regular, visando contribuir para um modelo educacional mais atrativo, com vistas a atender tanto às especificidades de pessoas com deficiência quanto as dos demais estudantes, endossando, assim, o compromisso de garantir a equidade na educação (MONECHI; GUISSO, 2021).

Segundo Pletsh, Souza e Orleans apud (MONECHI; GUISSO, 2021) “o conceito de desenho universal na aprendizagem pode representar um avanço

no processo de escolarização de pessoas com deficiências, na medida em que possibilita acesso de todos ao currículo geral, diferentemente de épocas anteriores, em que o currículo para alunos com deficiência era diferente daquele oferecido aos demais alunos.”

Portanto, a abordagem do Desenho Universal para Aprendizagem viabiliza a ruptura com o modelo convencional de sala de aula do ensino regular, buscando promover um ambiente educacional mais envolvente. Isso é feito com o intuito de satisfazer as necessidades tanto dos alunos com deficiência quanto dos demais estudantes, reforçando o compromisso com a equidade na educação(MONECHI; GUISSO, 2021).

#### 2.1.4.2

##### **Princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem**

O DUA é baseado em princípios que visam criar um currículo que ofereça oportunidades iguais de aprendizagem para todos os alunos, independentemente de suas habilidades, idade, gênero ou background cultural e linguístico. Ele é projetado para atender às necessidades de todos os alunos, incluindo aqueles com diversas necessidades(SILVA; JUNIOR, 2020).

Os princípios do DUA foram desenvolvidos com base em estudos educacionais e neurocientíficos, focando em três sistemas cerebrais que são ativados durante a aprendizagem. Esses princípios estão relacionados à oferta de diferentes formas de engajamento, representação e ação e expressão, alinhadas com as redes cerebrais afetivas, de reconhecimento e estratégicas(PIECZARKA; VALDIVIESO, 2023)(VITALIANO; PRAIS; SANTOS, 2019)(SILVA; JUNIOR, 2020).

Os três princípios norteadores do Desenho Universal para a Aprendizagem, conforme estabelecidos pelo CAST, compreendem a necessidade de permitir múltiplas modalidades de apresentação do conteúdo, oferecer diversas vias para que os alunos expressem e ajam sobre o conhecimento adquirido, e fomentar a participação, o interesse e o engajamento dos alunos durante a execução das atividades pedagógicas. Como ilustrado na Figura 2.5, cada um desses princípios estão associados a uma das três redes cerebrais primárias envolvidas no processo de aprendizagem(VITALIANO; PRAIS; SANTOS, 2019)(SILVA; JUNIOR, 2020).



Figura 2.5: Princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem e suas relações com as redes cerebrais, Fonte: (SILVA; JUNIOR, 2020)

### **Primeiro Princípio: Ofertar múltiplos modos de apresentação do conteúdo (aprender o "que")**

Enfatiza a importância de oferecer diferentes maneiras de apresentar o conteúdo aos alunos, levando em consideração suas diversas formas de perceber e compreender a informação. Isso pode incluir adaptações para alunos com deficiências sensoriais, dificuldades de aprendizagem ou origens culturais distintas. A variedade de abordagens, como recursos visuais ou auditivos, ajuda na aprendizagem e na transferência de conhecimento, permitindo que os alunos estabeleçam conexões entre os conceitos (SEBASTIÁN-HEREDERO, 2020) (P.SANTOS, 2015) (SILVA; JUNIOR, 2020).

### **Segundo Princípio: Apresentar múltiplos modos de expressão e de aprendizagem (aprender "como")**

Destaca a importância de oferecer diferentes formas de expressão e aprendizagem aos alunos, levando em conta suas diferentes maneiras de buscar conhecimento e demonstrar o que sabem. Isso é especialmente relevante para alunos com condições que podem apresentar desafios específicos na expressão e ação do aprendizado. As estratégias educacionais devem ser adaptadas para atender às diversas necessidades e habilidades dos alunos (SEBASTIÁN-HEREDERO, 2020) (P.SANTOS, 2015) (SILVA; JUNIOR, 2020).

### **Terceiro Princípio: Ofertar múltiplos modos de participação e engajamento(aprender “porquê”)**

Destaca a importância de oferecer diferentes formas de participação aos alunos, levando em consideração suas motivações e engajamento no processo de aprendizagem. Essa diversidade de fontes inclui fatores neurológicos, culturais, interesses pessoais e conhecimentos prévios, entre outros(SEBASTIÁN-HEREDERO, 2020)(P.SANTOS, 2015)(SILVA; JUNIOR, 2020).

#### **2.1.4.3**

#### **Definição do DUA**

A definição precisa de Desenho Universal para a Aprendizagem foi estabelecida pelo governo dos Estados Unidos e incorporada à Lei de Oportunidades em Educação Superior (Higher Education Opportunity Act) de 2008. Segundo esta definição, o termo Desenho Universal para a Aprendizagem se refere a um conjunto de referências cientificamente válidas destinadas a orientar as práticas educacionais, as quais englobam(SEBASTIÁN-HEREDERO, 2020)(SILVA; JUNIOR, 2020):

- Proporcionar flexibilidade nas formas que as informações são apresentadas, nos modos que os estudantes respondem ou demonstram seus conhecimentos e habilidades, e nas maneiras que os estudantes são motivados e se comprometem com seu próprio aprendizado.
- Reduzir as barreiras na forma de ensinar, proporciona adaptações, apoios/ajudas e desafios apropriados, e mantém altas expectativas de êxito para todos os estudantes, incluindo aqueles com deficiências e os que se encontram limitados por sua competência linguística no idioma da aprendizagem.

O conceito de Desenho Universal, conforme delineado pelo Center for Universal Design, originou-se no campo da arquitetura, sendo concebido por Ronald L. Mace, renomado arquiteto, designer de produtos e educador. Mace cunhou o termo com a visão de que todos os produtos e ambientes construídos deveriam ser esteticamente agradáveis e totalmente funcionais para todas as pessoas, independentemente de idade, capacidade ou status de vida (COSTA-RENDERS; AMARAL; OLIVEIRA, 2020)(SEBASTIÁN-HEREDERO, 2020)(SILVA; JUNIOR, 2020).

No Brasil, o conceito foi oficialmente adotado pelo Decreto n.º 5.296 de 2004. Em seu artigo 8, inciso IX, o decreto define Desenho Universal como: *“a concepção de espaços, artefatos e produtos que visam atender simultaneamente todas as pessoas, considerando suas diferentes características antropométricas e*

*sensoriais, proporcionando autonomia, segurança e conforto. Esses elementos ou soluções compõem a acessibilidade” (BRASIL, 2004) (P.SANTOS, 2015).*

#### 2.1.4.4

#### **A tecnologia digital é necessária para implementar o DUA?**

*“Se as tecnologias refletem a capacidade inovativa do conhecimento humano, as suas fronteiras não devem ser limitadas por barreiras de acesso ou de reconhecimento da diversidade.”(CORRÊA, 2021)*

No contexto desta tese, quando se faz referência à palavra “tecnologia”, está especificamente abordando-se as tecnologias digitais da informação e comunicação.

As Declarações de Incheon e de Qingdao, criadas pela UNESCO em 2015, reiteraram o compromisso global de garantir uma educação inclusiva, equitativa e de qualidade para todos, destacando o potencial das tecnologias digitais para reduzir as disparidades na aprendizagem(CORRÊA, 2021). No entanto, é crucial ressaltar que a mera integração de tecnologia na sala de aula não assegura a implementação efetiva dos princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem. O simples uso de tecnologia não garante necessariamente uma melhoria na aprendizagem, já que muitas tecnologias enfrentam desafios de acessibilidade semelhantes às opções não tecnológicas(SEBASTIÁN-HEREDERO, 2020).

No Fórum Internacional de Inclusão e Equidade na Educação, realizado pela UNESCO em 2019 para celebrar os 25 anos da Declaração de Salamanca, foi estabelecido o Compromisso de Cali para a equidade e inclusão na educação. Este compromisso ressalta a recomendação do uso de tecnologias digitais para ampliar as oportunidades de ensino e aprendizado(CORRÊA, 2021).

É possível adaptar o currículo para atender às necessidades dos estudantes mesmo sem o uso de tecnologias. No entanto, a integração das tecnologias, em conformidade com os princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA), possibilita uma personalização mais eficiente e eficaz do currículo, tanto para os alunos quanto para auxiliar os professores nas adaptações necessárias(SEBASTIÁN-HEREDERO, 2020).

As tecnologias desempenham um papel crucial na promoção de ambientes escolares inclusivos, ao eliminar barreiras arquitetônicas, pedagógicas, tecnológicas, metodológicas e comunicacionais. Elas também possuem o potencial de democratizar o acesso à educação e de fomentar a diversidade na sala de aula, catalisando mudanças culturais e transformando atitudes na educação(CORRÊA, 2021).

De acordo com (CORRÊA, 2021), as premissas para o uso de tecnologias em prol da inclusão são as seguintes:

- Tecnologias devem ser concebidas e empregadas com base no princípio fundamental de que todos têm potencial para aprender e ensinar;
- O processo de ensino-aprendizagem deve ser o foco central;
- A concepção de tecnologias voltadas para a diversidade estabelece as bases para uma educação equitativa, adaptada às mudanças do mundo contemporâneo;
- A sala de aula deve refletir a diversidade humana, incentivando habilidades para uma convivência democrática;
- A superação de barreiras educacionais é uma empreitada coletiva, exigindo uma colaboração horizontal entre atores governamentais e não governamentais.

Globalmente, as crianças com deficiência enfrentam altos níveis de marginalização e vulnerabilidade, especialmente no contexto da exclusão educacional. De acordo com o Banco Mundial, aproximadamente 15% da população mundial vive com algum tipo de deficiência, e entre as crianças que não frequentam a escola, essa proporção é ainda maior, atingindo cerca de 33% (CORRÊA, 2021).

### **2.1.5 Colégio Pedro II**

Criado em 1837, o Colégio Pedro II (CPII) é uma instituição pluricurricular e multicampi, que atua na oferta de educação básica (ensino infantil, ensino fundamental e ensino médio), licenciaturas e pós-graduação. Além disso, destaca-se por suas contribuições significativas na área da pesquisa e extensão, integrando o ensino às necessidades da sociedade (BRASIL, 2024). Comprometido com a inclusão e acessibilidade, todas as unidades do CPII possuem Núcleos de Atendimento às Pessoas com Necessidades Específicas (NAPNE), desempenhando um papel essencial na promoção de práticas inclusivas.

Segundo informações em (CPII, 2021a), o NAPNE disponibiliza para seus estudantes os ambientes Sala de Recursos e Laboratório de Aprendizagem. Na Sala de Recursos, são atendidos alunos com indicação médica, abrangendo aqueles com deficiências, transtornos globais de desenvolvimento e altas habilidades/superdotação. Já no Laboratório de Aprendizagem, são acolhidos os alunos do Campus II e do Programa de Integração da Educação Profissional com a Educação Básica na Modalidade de Educação de Jovens e

Adultos (PROEJA), conforme indicação dos professores que trabalham com esses estudantes (CPII, 2021b).

### **2.1.5.1 NAPNE de Realengo I**

Devido à autonomia conferida a cada unidade do Colégio Pedro II na definição de seus próprios processos de identificação de alunos com necessidades educacionais especiais, esta seção somente apresenta o processo realizado no campus Realengo I, visto que esta pesquisa está sendo realizada em parceria com os profissionais deste campus, isto proporcionou um entendimento aprofundado do método específico adotado na unidade. O processo de identificação em Realengo I é conduzido de maneira cuidadosa e minuciosa, envolvendo a observação atenta dos professores em sala de aula, avaliação mais aprofundada pelo NAPNE, orientação aos pais quando necessário, e a possibilidade de retorno com laudo profissional.

#### **Processo de Avaliação dos Alunos**

A avaliação realizada pelo NAPNE é iniciada no processo de identificação que se desdobra em dois momentos distintos. O primeiro deles ocorre no momento da identificação pela escola, quando a criança ingressa no Colégio trazendo consigo um histórico escolar e laudo médico. Nesse estágio inicial, os profissionais do NAPNE têm acesso a informações preexistentes que contribuem para uma compreensão inicial das necessidades educacionais específicas da criança. O outro momento da avaliação se dá por meio da identificação realizada pelos professores, os quais, por meio da observação atenta do comportamento da criança durante as aulas, contribuem para uma análise mais aprofundada das suas características e demandas individuais. Essa abordagem em dois momentos visa assegurar uma avaliação abrangente, proporcionando uma base sólida para a implementação de estratégias educacionais adequadas às necessidades específicas de cada aluno. Após essa identificação inicial, o Núcleo de Atendimento às Pessoas com Necessidades Específicas (NAPNE) entra em ação, avaliando o aluno em questão de maneira mais aprofundada. Essa avaliação busca compreender as necessidades específicas do aluno, considerando aspectos pedagógicos, comportamentais e emocionais.

Caso seja identificada a necessidade de um suporte mais especializado, os pais são orientados a buscar ajuda profissional externa, como a consulta a especialistas e profissionais da área da saúde. Esse passo é fundamental para obter um diagnóstico mais preciso sobre as necessidades educacionais do aluno.

Quando os pais retornam com o laudo profissional, o NAPNE utiliza

essas informações para informar à escola e aos professores quais adaptações são necessárias para atender às demandas específicas desse aluno. Essas adaptações podem envolver a disponibilização de recursos pedagógicos específicos, ajustes nas atividades, modificações no ambiente de aprendizagem e outras estratégias personalizadas.

Dessa forma, os alunos identificados como tendo necessidades educacionais específicas têm o direito garantido a atividades, aulas e avaliações adaptadas conforme suas necessidades individuais. Isso visa proporcionar uma experiência educacional inclusiva, atendendo ao princípio da equidade e promovendo o pleno desenvolvimento acadêmico e social de cada estudante.

### **Etapas**

A seguir é apresentada a descrição das etapas do processo de identificação dos alunos com necessidades educacionais específicas que também é ilustrado na Figura 2.6.

#### **I. Identificação pela Escola ou pelos Professores**

A identificação pela escola é realizada quando a criança ingressa no Colégio trazendo consigo um histórico de deficiência e laudo médico. A identificação pelos professores ocorre durante o acompanhamento em sala de aula quando é percebido que a criança tem possíveis necessidades educacionais específicas.

#### **II. Avaliação pelo NAPNE**

O Núcleo de Atendimento às Pessoas com Necessidades Específicas (NAPNE) avalia o aluno de maneira mais aprofundada para compreender suas necessidades específicas.

#### **III. Orientação aos Pais**

Se necessário, os pais são orientados a buscar ajuda profissional externa para obter um diagnóstico mais preciso sobre as necessidades educacionais do aluno.

#### **IV. Retorno com Laudo**

Os pais retornam com o laudo profissional que detalha as necessidades específicas do aluno. Caso o aluno não retorne com o laudo, sua situação é encaminhada à assistente social.

#### **V. Informação ao NAPNE**

O NAPNE utiliza as informações do laudo para informar à escola e aos professores sobre as adaptações necessárias.

### VI. Adaptações Específicas

Com base nas informações do laudo, são implementadas adaptações, como recursos pedagógicos específicos, ajustes nas atividades e modificações no ambiente de aprendizagem.

### VII. Acesso a Atividades Adaptadas

Os alunos identificados com necessidades educacionais específicas têm direito a participar de atividades, aulas e avaliações adaptadas conforme suas necessidades individuais.

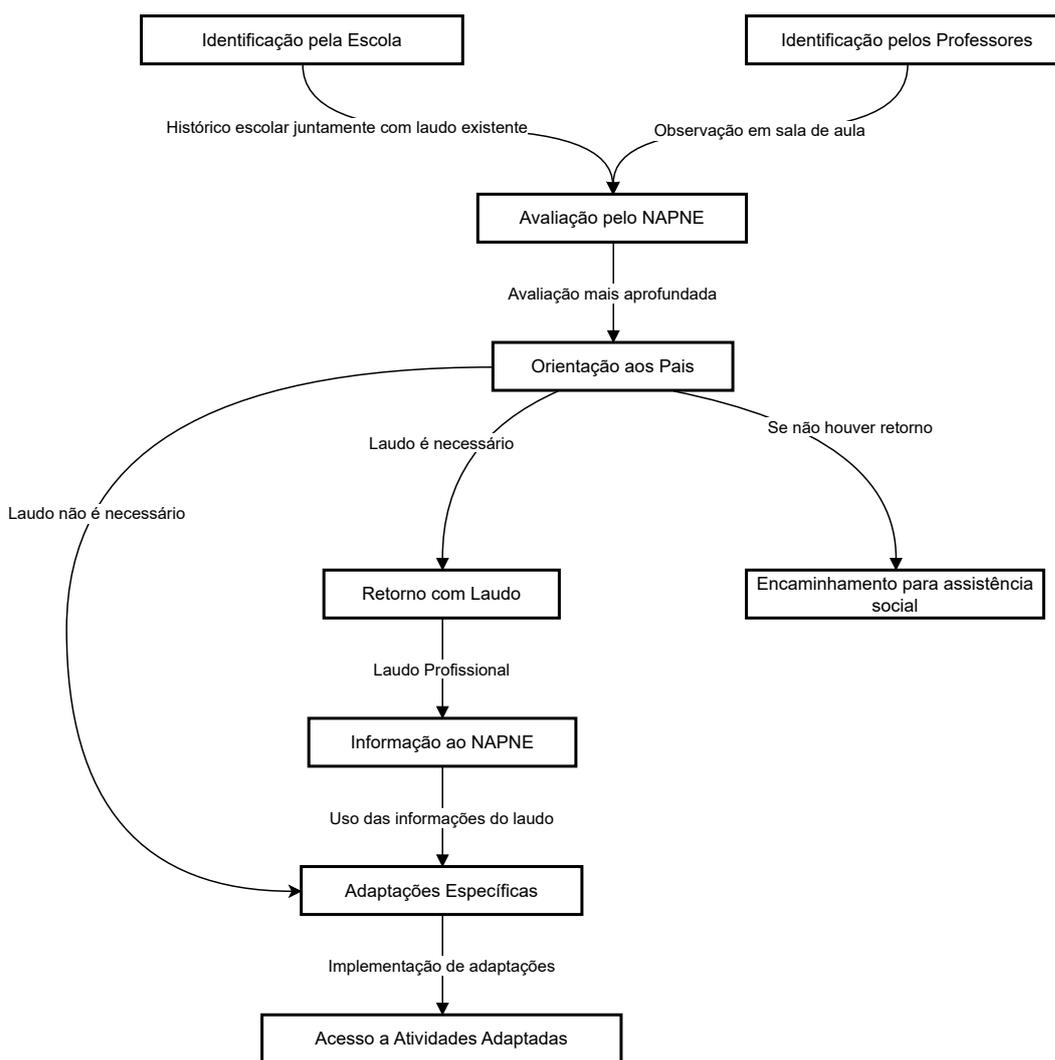


Figura 2.6: Processo de identificação dos alunos com necessidades educacionais específicas pelo NAPNE de Realengo I. Elaborado pelo autor a partir de informações fornecidas por profissionais do Colégio Pedro II.

## 2.2

### Tecnologia

Esta seção descreve sucintamente os conceitos sobre Tecnologias Assistivas e suas aplicações na educação inclusiva, os fundamentos de Computação Pervasiva e por fim, as principais Tecnologias Web utilizadas para o desenvolvimento da plataforma proposta.

#### 2.2.1

##### Tecnologias Assistivas

Nessa seção, são apresentados os conceitos fundamentais sobre Tecnologias Assistivas, suas classificações e aplicações na Educação Inclusiva.

##### 2.2.1.1

###### O Conceito de Tecnologia Assistiva

O conceito Assistive Technology, traduzido no Brasil como Tecnologia Assistiva, foi introduzida em 1988 como um componente crucial da legislação norte-americana, especificamente na Public Law 100-407, que faz parte do Americans with Disabilities Act (ADA)(JÚNIOR et al., 2023)(SARTORETTO; BERSCH, 2024). Esse conceito foi renovado em 1998 como Assistive Technology Act de 1998 (P.L. 105-394, S.2432) e compõe, juntamente com outras leis, o ADA, que regula os direitos dos cidadãos com deficiência nos EUA e também fornece a base legal para a aquisição de recursos necessários por meio de fundos públicos(JÚNIOR et al., 2023)(SARTORETTO; BERSCH, 2024).

No Brasil, a Tecnologia Assistiva (TA) é definida com base no conceito proposto pelo extinto Comitê de Ajudas Técnicas (CAT), uma instância criada pela Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República. Segundo (BRASIL. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas, 2009),

*“Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social”.*

O art. 3º, inciso III, do Estatuto da Pessoa com Deficiência considera a seguinte definição acerca da tecnologia assistiva(BRASIL, 2015):

*“[...] produtos, equipamentos, dispositivos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivem promover a fun-*

*cionalidade, 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.”*

Segundo (SARTORETTO; BERSCH, 2024), a Tecnologia Assistiva (TA) “é o termo usado para identificar todo o arsenal de Recursos e Serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência e consequentemente promover Vida Independente e Inclusão”.

### 2.2.1.2

#### **O objetivo da Tecnologia Assistiva**

A Tecnologia Assistiva busca aumentar a independência, qualidade de vida e inclusão social das pessoas com deficiência. Isso é alcançado através da melhoria da comunicação, mobilidade, controle do ambiente, habilidades de aprendizado, trabalho e integração social com a família, amigos e comunidade (SARTORETTO; BERSCH, 2024).

Na área educacional, a tecnologia assistiva desempenha um papel crucial, proporcionando recursos e serviços que visam auxiliar e promover qualidade de vida aos alunos (PEREIRA et al., 2023).

Tanto no conceito do Sistema Nacional de Reabilitação e Promoção de Direitos (SNRIPD) quanto no da norma ISO 9999:2007, a Tecnologia Assistiva é destinada a compensar, aliviar ou neutralizar deficiências, incapacidades ou desvantagens (BRASIL. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas, 2009) (SARTORETTO; BERSCH, 2024). Essa tríade também é encontrada na International Classification of Impairment, Disability and Handicap (ICIDH) de 1980, da Organização Mundial da Saúde (OMS), onde (BRASIL. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas, 2009) (SARTORETTO; BERSCH, 2024):

- Deficiência é vista como uma condição de ausência ou funcionamento inadequado de uma parte do corpo;
- Incapacidade refere-se à dificuldade ou impossibilidade de realizar uma ação desejada;
- Desvantagem é a restrição ou privação da participação social em igualdade de direitos e condições.

### 2.2.1.3

#### O que é Tecnologia Assistiva

Para (SARTORETTO; BERSCH, 2024), a TA é um conjunto de recursos e serviços. Os recursos são todos os artefatos produzidos para aumentar, manter ou melhorar as capacidades funcionais das pessoas com deficiência. Como, por exemplo, uma bengala, brinquedos, programas especiais para computadores, equipamentos de comunicação alternativa entre outros. Já os serviços são aqueles que envolvem a ação de auxiliar diretamente um PcD, como por exemplo fisioterapia, terapia ocupacional, fonoaudiologia, educação entre outros.

### 2.2.1.4

#### As classificações em Tecnologia Assistiva

As classificações em tecnologia assistiva, listadas a seguir, são importantes para organizar esse campo de conhecimento, facilitando estudos, pesquisa, desenvolvimento, políticas públicas, serviços, catalogação e formação de bancos de dados para identificar os recursos mais adequados às necessidades dos usuários(SARTORETTO; BERSCH, 2024).

- **Auxílio para a vida diária:** itens e dispositivos que auxiliam em atividades diárias, como alimentação, preparo de alimentos, vestimenta, higiene pessoal e limpeza doméstica.
- **Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA):** esses recursos ajudam na comunicação para pessoas com dificuldades na fala, incluindo pranchas de símbolos, vocalizadores e softwares especializados.
- **Recursos de acessibilidade ao computador:** é um tecnologia que ajuda pessoas com deficiência a interagir com computadores, incluindo dispositivos como teclados modificados, sistemas de voz e Braille, entre outros.
- **Sistemas de controle de ambiente:** dispositivos eletrônicos que capacitam pessoas com restrições de mobilidade a controlar dispositivos eletroeletrônicos à distância, como sistemas de abertura de portas, janelas, cortinas, sistemas de segurança, entre outros, em ambientes domésticos e profissionais.
- **Projetos arquitetônicos para acessibilidade:** são alterações feitas na estrutura da casa ou local de trabalho, como a instalação de rampas, elevadores e adaptações nos banheiros, que visam eliminar ou reduzir as barreiras físicas, facilitando a locomoção e o uso desses espaços por pessoas com deficiência.

- **Órteses e próteses:** são substituição ou adaptação de partes do corpo que estejam faltando ou com funcionamento comprometido, usando membros artificiais ou outros dispositivos ortopédicos. Também inclui dispositivos protéticos que ajudam em deficiências ou limitações cognitivas.
- **Adequação Postural:** adaptações feitas em cadeiras de rodas ou assentos para garantir conforto e distribuição adequada da pressão na pele, incluindo o uso de almofadas especiais e posicionadores para promover estabilidade e postura adequada do corpo.
- **Auxílios de mobilidade:** dispositivos como cadeiras de rodas manuais e elétricas, andadores, scooters e outros veículos utilizados para melhorar a mobilidade pessoal.
- **Auxílios para cegos ou com visão subnormal:** são recursos como lupas, Braille em dispositivos com síntese de voz, telas de impressão ampliadas, sistemas de TV com aumento para leitura, impressoras Braille e animais treinados para auxílio diário.
- **Auxílios para surdos ou com déficit auditivo:** são uma variedade de dispositivos, como sistemas de infravermelho e FM, aparelhos auditivos, telefones com teclado TTY, sistemas de alerta visual-tátil e campainhas luminosas, entre outros.
- **Adaptações em veículos:** são itens e modificações em veículos que facilitam o acesso e a condução, como ajustes nos pedais, acessórios para o volante, rampas e elevadores para cadeiras de rodas em ônibus, vans e outros veículos adaptados para transporte pessoal.

#### 2.2.1.5

##### **A Tecnologia Assistiva na Educação**

A inclusão escolar é um assunto de suma importância na sociedade atual, especialmente no que se refere à participação de alunos com deficiência em ambientes educacionais. A tecnologia assistiva emerge como uma prática inclusiva capaz de promover a formação e integração desses alunos no contexto escolar (JÚNIOR et al., 2023).

No contexto educacional, Tecnologia Assistiva (TA) refere-se a uma área interdisciplinar que envolve recursos, estratégias, produtos, serviços e metodologias destinados a promover a participação de estudantes com deficiência em diversas atividades escolares, visando alcançar objetivos educacionais comuns e desenvolver sua autonomia e independência (JÚNIOR et al., 2023).

Para (FILHO, 2013), a Tecnologia Assistiva é aquela que favorece, compensa, potencializa ou auxilia habilidades ou funções pessoais comprometidas pela deficiência, especialmente relacionadas às funções motoras, visuais, auditivas e/ou de comunicação. Ele destaca a relação direta entre Tecnologia Assistiva e inclusão escolar, evidenciando que tais recursos são essenciais para garantir a participação plena dos alunos com deficiência no ambiente educacional.

Assim, (FILHO, 2013) estabelece uma conexão entre a tecnologia assistiva e a inclusão escolar, apresentando o seguinte argumento:

*“Por essa maneira de entender, a relação entre TA e educação pode ser inferida pela maior capacidade e predisposição para o aprendizado que os recursos de acessibilidade da TA conferem ao estudante com deficiência, na medida em que a TA lhe possibilita ou facilita interagir, relacionar-se e atuar em seu meio com recursos mais poderosos, proporcionados pelas adaptações de acessibilidade de que dispõe. Por meio dos recursos de TA esse estudante poderá, então, dar passos maiores em direção à eliminação das barreiras (motoras, visuais, auditivas e/ou de comunicação) para esse aprendizado e a eliminação dos preconceitos, como consequência do respeito conquistado com a convivência, aumentando sua autoestima, porque passa a poder explicitar melhor seu potencial e seus pensamentos.”*

Portanto, a TA na educação visa garantir igualdade de oportunidades, estimulando o desenvolvimento e a autonomia das pessoas com deficiência. Ela atua como mediadora nas atividades educacionais, proporcionando autonomia e oportunidades equitativas para os alunos, facilitando a interação e a compreensão. Seu objetivo é eliminar barreiras que possam limitar a participação dos estudantes em igualdade de condições (JÚNIOR et al., 2023) (CORREA; MORO; VALENTINI, 2021) (CORRÊA, 2021).

#### **2.2.1.6 Tecnologia Assistiva para o Aprendizado?**

No cenário atual do mercado, é possível encontrar uma ampla variedade de softwares educacionais que se autodenominam “Tecnologia Assistiva para o aprendizado”. No entanto, essa categorização enfrenta desafios significativos devido à diversidade no desenvolvimento cognitivo das pessoas. Isso muitas vezes resulta em generalizações ou padronizações simplistas que não refletem adequadamente a complexidade e a individualidade das necessidades educacionais (FILHO, 2013).

Há uma evidente presença de estratégias de marketing que exploram a preocupação dos pais de crianças (PcD) em encontrar soluções para as dificuldades de aprendizado de seus filhos. Muitas vezes, isso está ligado à crença equivocada de que o computador pode resolver instantaneamente esses problemas(FILHO, 2013).

O que pode ocorrer é uma interpretação errada entre a Informática na Educação Especial e a Tecnologia Assistiva na Educação, áreas distintas de estudo e pesquisa(FILHO, 2013).

Essa interpretação errada entre Informática na Educação Especial e Tecnologia Assistiva, presente em alguns artigos, não decorre necessariamente de má fé, mas sim da necessidade de maior clareza conceitual. Isso é compreensível, considerando que o conceito de Tecnologia Assistiva é relativamente recente e ainda está em processo de organização e sistematização(FILHO, 2013).

A distorção ocorre quando um recurso computacional é utilizado por estudantes com finalidades idênticas, mas é classificado como Tecnologia Assistiva para um aluno com deficiência e como tecnologia educacional para outro sem deficiência. Essa situação se refere apenas às necessidades e dificuldades relacionadas ao aprendizado, não envolvendo dificuldades motoras, visuais, auditivas ou de comunicação(FILHO, 2013).

Para (FILHO, 2013) “o que define e caracteriza um recurso como sendo ou não um recurso de TA, não são apenas as características particulares do recurso (“o que”). Nem, tampouco, apenas as características do usuário (“para quem”). Porém, também, a finalidade para a qual se está utilizando o referido recurso (“para que”)”.

Galvão(FILHO, 2013) ressalta a importância de considerar três perguntas fundamentais ao identificar e classificar um recurso como Tecnologia Assistiva:

- Qual é o propósito deste recurso?
- A quem se destina?
- Com que finalidade é empregado?

A Tecnologia Assistiva age como uma mediação instrumental para ajudar a compensar, potencializar ou auxiliar as habilidades afetadas pela deficiência, especialmente nas áreas motoras, visuais, auditivas e de comunicação, especialmente na escola. No entanto, é importante destacar que a superação das dificuldades cognitivas de um estudante na escola está mais relacionada às estratégias pedagógicas e à tecnologia educacional do que à Tecnologia Assistiva(FILHO, 2013).

## 2.2.2

### Computação Pervasiva

A Computação Pervasiva é uma área da computação que se concentra no desenvolvimento de sistemas e dispositivos que estão integrados ao ambiente cotidiano das pessoas, tornando-se praticamente invisíveis, mas ainda disponíveis para uso quando necessário. Ela é baseada em uma variedade de tecnologias, como sensores, redes de comunicação, dispositivos móveis, computação em nuvem, inteligência artificial, entre outros, permitindo que os dispositivos e sistemas interajam de forma inteligente e autônoma com o ambiente e com os usuários (HANSMANN et al., 2013).

#### 2.2.2.1

##### Definição

A IBM define Computação Pervasiva como (HANSMANN et al., 2013):

*“Convenient access, through a new class of devices, to relevant information with the ability to easily take action on it when and where you need it.”*

Esta definição descreve um conceito no qual a tecnologia está tão integrada ao ambiente diário que se torna praticamente invisível, mas ainda está disponível para uso quando necessário. A definição pode ser detalhada nos seguintes elementos:

- **Acesso conveniente:** A tecnologia está disponível de forma fácil e intuitiva, sem a necessidade de esforço adicional.
- **Nova classe de dispositivos:** A computação pervasiva estende-se além dos dispositivos convencionais, abrangendo uma ampla gama de dispositivos interconectados.
- **Informações relevantes:** A tecnologia fornece acesso a informações pertinentes e úteis para o usuário.
- **Capacidade de ação:** O usuário pode tomar medidas significativas com base nas informações fornecidas pela tecnologia.
- **Quando e onde você precisa:** A tecnologia está disponível para uso em qualquer lugar e a qualquer momento, independentemente do dispositivo que o usuário esteja usando.
- **Facilidade de uso:** A tecnologia é projetada para ser acessível e utilizável por todos, minimizando barreiras de entrada e maximizando a utilidade prática no dia a dia.

### 2.2.2.2

#### Princípios da Computação Pervasiva

Conforme apresentado por (HANSMANN et al., 2013), a computação pervasiva é baseada nos princípios de descentralização, diversificação, conectividade e simplicidade. Esses princípios são fundamentais para orientar o design e a implementação de sistemas de computação pervasiva que sejam eficazes, eficientes e adaptáveis aos diversos ambientes e contextos de uso. (HANSMANN et al., 2013) descreve os princípios da computação pervasiva da seguinte forma:

- **Descentralização:** Este princípio refere-se à distribuição de poder de processamento e tomada de decisão por toda a rede de dispositivos. Em vez de depender de um único dispositivo centralizado para todas as operações, a computação pervasiva busca distribuir essas capacidades entre os dispositivos em rede. Isso permite uma maior eficiência, resiliência e escalabilidade do sistema, além de reduzir a carga sobre dispositivos individuais.
- **Diversificação:** Este princípio reconhece que os dispositivos na rede são diversos em termos de capacidades, recursos e contextos de uso. A computação pervasiva adapta-se a essa diversidade, permitindo que os dispositivos cooperem e interajam de maneira eficaz, independentemente de suas diferenças. Isso pode envolver a criação de sistemas que sejam flexíveis o suficiente para lidar com uma ampla variedade de dispositivos e cenários de uso.
- **Conectividade:** A conectividade é um dos pilares fundamentais da computação pervasiva. Isso envolve garantir que os dispositivos possam se comunicar entre si de forma eficiente e confiável, independentemente de sua localização ou tipo de conexão. Isso pode incluir tecnologias de rede sem fio, como Wi-Fi, Bluetooth, NFC (Near Field Communication) e outras formas de comunicação sem fio, bem como a integração com redes cabeadas.
- **Simplicidade:** A simplicidade é essencial na computação pervasiva para garantir que os sistemas sejam fáceis de usar, configurar e manter. Isso envolve projetar interfaces de usuário intuitivas, reduzir a complexidade desnecessária nos sistemas e automatizar processos sempre que possível. A simplicidade permite que os usuários interajam com os dispositivos de forma transparente e sem esforço, facilitando a adoção e o uso generalizado da tecnologia pervasiva.

### 2.2.2.3

#### Aplicações da Computação Pervasiva e a Educação

A computação pervasiva tem o potencial de transformar a maneira como se aprende e ensina, oferecendo uma série de aplicações inovadoras no contexto educativo. Ao integrar tecnologias pervasivas ao ambiente de aprendizagem, é possível criar experiências de ensino mais dinâmicas, personalizadas e interativas. Algumas das principais aplicações educativas da computação pervasiva incluem:

- **Aprendizado Móvel Personalizado:** (JOHNSON et al., 2016)
  - Utilização de dispositivos móveis, como smartphones e tablets, para oferecer recursos de aprendizado personalizados, adaptados às necessidades e preferências individuais dos alunos.
  - Aplicativos de aprendizado móvel que fornecem acesso a materiais educativos, exercícios interativos, tutoriais em vídeo e jogos educativos, permitindo que os alunos aprendam em qualquer lugar e a qualquer momento.
- **Ambientes de Aprendizado Inteligentes:** (KUKULSKA-HULME, 2010)
  - Implantação de sensores e dispositivos pervasivos em salas de aula e espaços de aprendizagem para criar ambientes inteligentes que se adaptam automaticamente às necessidades dos alunos.
  - Uso de tecnologias como beacons Bluetooth e RFID para fornecer informações contextuais e recursos educativos relevantes com base na localização e nas atividades dos alunos.
- **Realidade Aumentada e Virtual:** (DUNLEAVY, 2014)
  - Integração de tecnologias de realidade aumentada (RA) e realidade virtual (RV) ao currículo educativo para criar experiências imersivas e envolventes.
  - Aplicativos de RA que permitem aos alunos explorar simulações interativas, realizar experimentos virtuais e interagir com objetos digitais sobrepostos ao ambiente real.
- **Colaboração Onipresente:** (LAURILLARD, 2013)
  - Facilitação da colaboração entre alunos e professores por meio de ferramentas pervasivas de comunicação e compartilhamento de informações.

- Plataformas de colaboração online que permitem que os alunos trabalhem juntos em projetos, compartilhem recursos educativos e participem de discussões em tempo real, independentemente da localização física.
- **Avaliação Pervasiva:** (JOHNSON et al., 2016)
  - Implementação de sistemas de avaliação contínua e adaptativa que monitoram o progresso dos alunos de forma pervasiva, coletando dados em tempo real por meio de sensores e dispositivos conectados.
  - Utilização de algoritmos de análise de dados para fornecer feedback instantâneo e personalizado aos alunos, identificando áreas de melhoria e sugerindo recursos adicionais de aprendizado.

Essas aplicações demonstram o potencial da computação pervasiva para aprimorar a experiência educativa, promovendo a aprendizagem ativa, colaborativa e personalizada em diversos contextos e ambientes de ensino. Por exemplo, esta tese que propõe uma plataforma pervasiva para criação de aplicações voltadas à educação inclusiva e apoiadas por inteligência artificial e realidade estendida.

#### 2.2.2.4

#### **Computação Pervasiva e a Plataforma Web**

A plataforma web se tornou uma parte essencial da vida moderna, entrelaçando-se com o tecido da sociedade (DENTZEL, 2022). Ela oferece acesso a informações, serviços e entretenimento a qualquer hora e lugar, conectando pessoas, dispositivos e sistemas em um mundo cada vez mais digital (DENTZEL, 2022). Essa onipresença a torna uma plataforma ideal para a implementação da computação pervasiva, integrando a tecnologia ao cotidiano das pessoas de forma natural e transparente, sem se destacar ou impor sua presença. A seguir, são apresentadas algumas considerações sobre a computação pervasiva na plataforma web e exemplos concretos de como ela pode ser aplicada em diversos contextos e cenários.

#### **A Web como Plataforma Pervasiva**

A plataforma web apresenta características únicas que a tornam ideal para a computação pervasiva:

- **Acessibilidade Ubíqua:** A web pode ser acessada por uma gama diversificada de dispositivos, desde computadores tradicionais e laptops até smartphones, tablets, smartwatches e TVs inteligentes. Essa ubiquidade

garante que a tecnologia esteja sempre disponível, independentemente da localização ou do dispositivo utilizado.

- **Conectividade Interligada:** A web permite a interconexão perfeita de dispositivos e sistemas, possibilitando a troca de informações e a tomada de decisões autônomas em tempo real. Essa conectividade interligada cria um ecossistema digital dinâmico que facilita a comunicação e a colaboração entre diversos agentes.
- **Interatividade Intuitiva:** A web oferece interfaces interativas e intuitivas que facilitam a interação entre usuários e sistemas. Através de menus, botões, gestos e comandos de voz, a web permite que os usuários controlem sua experiência de maneira natural e eficiente, sem a necessidade de conhecimentos técnicos aprofundados.
- **Escalabilidade Robusta:** A web é capaz de lidar com grandes volumes de dados e usuários de maneira eficiente e robusta. Essa escalabilidade garante que a plataforma possa se adaptar às demandas crescentes e às novas tecnologias emergentes, sem comprometer seu desempenho ou confiabilidade.

### **Exemplos Concretos de Computação Pervasiva na Web**

Alguns exemplos concretos de como a computação pervasiva pode ser implementada na plataforma web incluem:

- **Notificações Push Instantâneas:** Alertas instantâneos de eventos importantes, como mensagens, notícias e atualizações de aplicativos, são recebidos em tempo real, mesmo sem estar navegando na web. Por exemplo, alertas sobre uma nova mensagem no WhatsApp podem surgir enquanto se trabalha em um documento, ou um aviso sobre uma oferta imperdível em uma loja virtual pode ser recebido enquanto se assiste a um vídeo.
- **Geolocalização Personalizada:** Pode-se encontrar restaurantes, lojas e pontos de interesse próximos à localização com precisão e rapidez, com base na geolocalização. A web utiliza o GPS do dispositivo para fornecer informações relevantes e personalizadas sobre o entorno, facilitando a navegação e descoberta de novos lugares.
- **Pagamentos Online Seguros:** É possível realizar compras e pagamentos de forma rápida, segura e conveniente, sem precisar sair de casa. Plataformas como PayPal, Mercado Pago ou Google Pay podem ser utilizadas para efetuar transações online com confiança, sem a preocupação com o manuseio de dinheiro ou cartões físicos.

- **Assistentes Virtuais Inteligentes:** Comandos de voz podem ser utilizados para realizar tarefas como pesquisar informações, controlar dispositivos inteligentes e agendar compromissos. Assistentes virtuais como Siri, Google Assistant ou Alexa podem ser interagidos para automatizar tarefas e obter ajuda com diversas atividades do dia a dia.
- **Personalização Adaptável:** A web adapta-se às preferências e hábitos de navegação, oferecendo conteúdo e serviços relevantes. É possível explorar sites de notícias que personalizam o feed de acordo com os interesses do usuário, ou plataformas de streaming que recomendam filmes e séries com base no histórico de visualização.

### 2.2.3

#### Tecnologias Web

Essa seção oferece uma visão detalhada das ferramentas fundamentais empregadas no desenvolvimento da plataforma proposta. Dividida em quatro partes distintas, esta seção proporciona uma explanação abrangente sobre as tecnologias essenciais que sustentam a infraestrutura da plataforma.

Na primeira parte, são abordadas as APIs Web, que desempenham um papel crucial no funcionamento da plataforma, fornecendo interfaces de programação que permitem a interação entre os diferentes componentes. Aqui, são apresentadas de forma concisa as principais APIs utilizadas, destacando suas funcionalidades e aplicações.

A segunda parte concentra-se na comunicação, delineando as tecnologias-chave empregadas para facilitar a comunicação em tempo real entre os diversos elementos da plataforma. Serão exploradas soluções eficazes que garantem uma troca de dados ágil e eficiente, fundamental para a interatividade e colaboração entre os usuários.

Na terceira parte, são discutidas as tecnologias relacionadas ao aprendizado de máquina, uma área em ascensão que foi integrada à plataforma. Nessa parte, são apresentadas as principais ferramentas e bibliotecas utilizadas para execução dos modelos de aprendizado de máquina diretamente no navegador.

Por fim, na quarta parte, é abordada a realidade estendida, explorando as tecnologias que possibilitam a criação de experiências imersivas de realidade aumentada e virtual diretamente no ambiente web. Essas tecnologias oferecem novas oportunidades para o enriquecimento do conteúdo educacional, promovendo a interatividade e o engajamento dos usuários em diferentes contextos de aprendizagem.

### 2.2.3.1

#### Visão Geral das APIs Web

As APIs Web desempenham um papel crucial na construção de aplicações web robustas e dinâmicas, oferecendo uma ampla gama de funcionalidades para potencializar a interatividade e a eficiência. Elas servem como interfaces de programação de aplicativos que permitem a interação entre diferentes partes de uma aplicação web, desde o navegador e o servidor até o dispositivo do usuário. Esta seção oferece uma visão detalhada das principais APIs Web utilizadas no desenvolvimento da plataforma proposta, destacando suas capacidades e aplicações. A seguir são apresentadas as APIs Web, as quais estão categorizadas por tipo de aplicação na Tabela 2.5, com destaque para as áreas de comunicação e mídia em tempo real, aprendizado de máquina e realidade estendida. Todas as informações apresentadas nesta seção foram obtidas a partir de fontes oficiais e documentações técnicas das respectivas APIs, como o MDN Web Docs<sup>2</sup> e a documentação oficial do W3C<sup>3</sup>.

- **Web Workers API:** Esta API permite a execução de scripts em background, em threads separadas da thread principal do navegador. Isso é útil para tarefas intensivas em CPU, como processamento de grandes conjuntos de dados, operações matemáticas complexas e renderização de gráficos, sem comprometer a responsividade da interface do usuário. Os Web Workers operam de forma assíncrona e não bloqueiam a thread principal, garantindo uma experiência de usuário suave e sem interrupções.
- **WebAssembly (Wasm):** O WebAssembly é uma linguagem de baixo nível, próxima ao código de máquina, que pode ser executada no navegador com desempenho comparável ao código nativo. Isso permite que os desenvolvedores implementem algoritmos complexos e intensivos em computação, como processamento de imagem, simulações físicas e jogos em 3D, diretamente no navegador, sem depender de plugins ou extensões.
- **Broadcast Channel API:** Esta API facilita a comunicação entre diferentes abas ou frames de um mesmo navegador. Ela permite que os desenvolvedores criem canais de comunicação bidirecionais, por onde as abas podem trocar mensagens em tempo real. Isso é útil para sincronizar o estado de aplicativos entre diferentes instâncias do navegador, compartilhar dados entre abas abertas do mesmo site e criar experiências colaborativas na web.

<sup>2</sup><https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web>

<sup>3</sup><https://www.w3.org/>

- **WebRTC (Web Real-Time Communication):** O WebRTC é uma tecnologia que permite a comunicação de áudio e vídeo em tempo real diretamente no navegador, sem a necessidade de plugins ou software adicional. Ele é amplamente utilizado em videoconferências, transmissões ao vivo, chamadas de voz e bate-papo por vídeo na web, proporcionando uma experiência de comunicação imersiva e de alta qualidade.
- **MediaStream API:** Esta API permite o acesso à entrada de áudio e vídeo dos dispositivos do usuário, como câmeras e microfones, diretamente no navegador. Ela fornece métodos para capturar, processar e transmitir fluxos de mídia em tempo real, permitindo a criação de aplicativos multimídia avançados, como gravadores de áudio/vídeo, chats por vídeo e ferramentas de reconhecimento de voz.
- **Web Speech API:** Esta API oferece suporte ao reconhecimento de fala e à síntese de voz diretamente no navegador. Ela permite que os desenvolvedores criem aplicativos acessíveis e interativos que respondem a comandos de voz do usuário, como assistentes virtuais, comandos de voz em jogos e aplicativos de tradução de voz para texto.
- **WebGL:** O WebGL é uma API de baixo nível baseada em OpenGL ES que permite a renderização de gráficos 3D no navegador. Ele fornece acesso direto ao hardware gráfico do dispositivo, permitindo a criação de visualizações interativas, jogos em 3D e simulações realistas diretamente no ambiente web, com desempenho otimizado e suporte a recursos avançados de gráficos.
- **WebGPU API:** Esta API está em desenvolvimento para oferecer um acesso mais eficiente ao hardware gráfico do dispositivo, permitindo o processamento paralelo de gráficos e computação de alto desempenho diretamente no navegador. Ela visa melhorar o desempenho e a escalabilidade de aplicações web com uso intensivo de gráficos, como jogos, visualizações de dados e renderização de vídeos em 3D.
- **WebXR Device API:** Esta API facilita o desenvolvimento de experiências de realidade aumentada e virtual diretamente no navegador. Ela fornece acesso aos sensores e dispositivos de entrada do dispositivo, como câmeras, acelerômetros e controles de movimento, permitindo a criação de experiências imersivas que integram o mundo virtual com o mundo real, com suporte a óculos de realidade virtual, dispositivos de realidade aumentada e outros dispositivos de entrada.

Tabela 2.5: API Web categorizada por tipo de aplicação

API	Comunicação e Mídia	Aprendizado de Máquina	Realidade Estendida
Web Workers API		✓	✓
WebAssembly		✓	✓
Broadcast Channel API	✓	✓	
WebRTC	✓		
MediaStream API	✓	✓	
Web Speech API		✓	
WebGL		✓	✓
WebGPU API		✓	✓
WebXR Device API			✓

### 2.2.3.2

#### Comunicação e Mídia em Tempo Real

Uma das características essenciais da plataforma proposta é sua capacidade de estabelecer comunicação em tempo real entre os diversos componentes que a compõem. Essa capacidade é fundamental para possibilitar interações e colaborações fluidas entre as aplicações hospedadas na plataforma, seja dentro do mesmo dispositivo ou em dispositivos distintos, ampliando as possibilidades de interação e enriquecendo a experiência do usuário.

Para garantir essa comunicação eficiente, são empregadas tecnologias avançadas disponíveis nos navegadores modernos. Essas tecnologias capacitam a plataforma a oferecer experiências interativas e imersivas, permitindo a colaboração em tempo real entre os participantes, o compartilhamento instantâneo de informações e o feedback em tempo real, independentemente da localização ou dispositivo utilizado.

A seguir são apresentadas a Broadcast Channel API, WebRTC e MediaStream API, que desempenham um papel fundamental na comunicação em tempo real na plataforma proposta.

#### **Broadcast Channel API**

A Broadcast Channel API é uma interface do navegador que permite a comunicação bidirecional entre diferentes abas ou frames do mesmo site ou aplicativo web. Essa API é especialmente útil quando se deseja transmitir informações entre diferentes partes de uma aplicação web que estão sendo executadas em

contextos de navegação separados, como várias abas do navegador ou frames em uma página da web.

### Principais Funcionalidades:

- **Comunicação Bidirecional:** A Broadcast Channel API permite a troca de mensagens entre diferentes contextos de navegação, possibilitando a comunicação bidirecional entre as partes envolvidas.
- **Transmissão de Dados:** Os dados podem ser transmitidos de forma eficiente e confiável entre as diferentes abas ou frames, facilitando a sincronização e atualização instantânea das informações.
- **Canais Personalizados:** É possível criar canais personalizados para diferentes tipos de comunicação, o que permite uma organização mais eficiente e modular da comunicação entre as partes da aplicação.

### Exemplo de Uso:

Suponha que haja um aplicativo web de mensagens instantâneas que permite aos usuários trocar mensagens em tempo real. Utilizando a Broadcast Channel API, podemos criar um canal de comunicação entre todas as abas ou janelas do navegador em que o aplicativo está sendo executado. Isso permite que todas as instâncias do aplicativo recebam e exibam novas mensagens em tempo real, independentemente da aba ou janela em que o usuário esteja interagindo. A Figura 2.7 ilustra esse exemplo simplificado do uso da Broadcast Channel API para a comunicação entre diferentes abas do navegador.

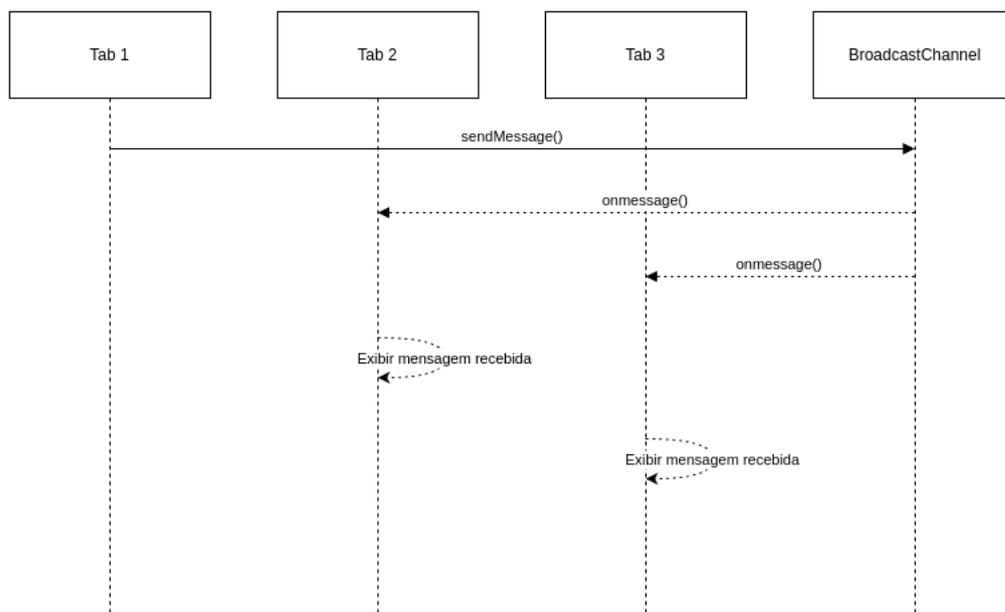


Figura 2.7: Diagrama de sequência de um caso de uso da Broadcast Channel API para Comunicação entre Abas do Navegador

**Explicação do Diagrama:**

- **Tab1:** Representa uma guia do navegador onde o usuário está interagindo com o aplicativo web.
- **Tab2 e Tab3:** Representam outras abas do navegador ou janelas onde o mesmo aplicativo web está sendo executado.
- **BroadcastChannel:** Representa o canal de comunicação criado utilizando a Broadcast Channel API.
- **sendMessage():** Método utilizado para enviar uma mensagem através do canal de comunicação.
- **onmessage():** Evento acionado quando uma nova mensagem é recebida no canal de comunicação.
- **Exibir mensagem recebida:** Ação realizada pelas abas do navegador para exibir a mensagem recebida do canal de comunicação.

A partir desse exemplo simplificado do uso da Broadcast Channel API, é possível compreender que essa API oferece uma ampla gama de possibilidades para a comunicação eficiente entre diferentes partes de uma aplicação web, possibilitando a criação de experiências de usuário mais dinâmicas e interativas. Essa API é amplamente utilizada na plataforma, conforme detalhado na Seção 5.1.4.1 permitindo a comunicação eficiente entre diferentes partes dos principais componentes da plataforma, contribuindo para a criação de aplicações mais dinâmicas e interativas.

**WebRTC (Web Real-Time Communication)**

A WebRTC é uma tecnologia de código aberto que permite a comunicação em tempo real entre navegadores da web e aplicativos. Ela possibilita a transmissão de áudio, vídeo e dados diretamente entre os dispositivos, sem a necessidade de plugins ou software adicional. A WebRTC é amplamente utilizada para uma variedade de aplicativos, como videoconferências, chamadas de voz, compartilhamento de tela e streaming de mídia ao vivo.

**Principais Funcionalidades:**

- **Comunicação em Tempo Real:** A WebRTC permite a transmissão de áudio, vídeo e dados em tempo real entre os dispositivos, proporcionando uma experiência de comunicação instantânea e sem latência perceptível.

- **Compatibilidade com Navegadores:** A WebRTC é suportada pelos principais navegadores da web, incluindo Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge e Safari, o que garante uma ampla compatibilidade e acessibilidade.
- **Segurança:** A WebRTC utiliza protocolos de segurança avançados, como criptografia de ponta a ponta, para garantir a privacidade e a integridade dos dados transmitidos entre os dispositivos.
- **P2P (Peer-to-Peer):** A WebRTC utiliza uma arquitetura peer-to-peer para estabelecer conexões diretas entre os dispositivos dos participantes, minimizando a latência e melhorando a qualidade da comunicação.
- **Adaptabilidade:** A WebRTC é altamente adaptável a diferentes dispositivos e redes, ajustando automaticamente a qualidade da comunicação com base na largura de banda disponível e nas capacidades dos dispositivos.

### **Processo de Signaling:**

O processo de signaling é responsável por estabelecer e coordenar a comunicação entre os participantes de uma sessão WebRTC. Consiste em três etapas principais:

- **Negociação de Parâmetros (Offer/Answer):** Durante essa etapa, os participantes trocam informações sobre suas capacidades e preferências de comunicação, como codecs de áudio/vídeo suportados e restrições de largura de banda. Isso é feito por meio da troca de mensagens do tipo Offer (oferta) e Answer (resposta).
- **Estabelecimento da Conexão (ICE Candidates):** Após a negociação dos parâmetros, os participantes trocam informações sobre os candidatos ICE (Interactive Connectivity Establishment), que são endereços e portas através dos quais a comunicação pode ser estabelecida. Essas informações são usadas para estabelecer uma conexão direta entre os participantes.
- **Controle de Mídia (DTLS-SRTP):** Uma vez estabelecida a conexão, os participantes iniciam a transmissão de mídia (áudio/vídeo) utilizando protocolos como o DTLS (Datagram Transport Layer Security) e o SRTP (Secure Real-Time Transport Protocol), garantindo a segurança e integridade dos dados transmitidos.

**Exemplo de Uso:**

Suponha que temos um aplicativo web de videoconferência que utiliza a WebRTC para permitir chamadas de vídeo entre os usuários. A Figura 2.8 ilustra um exemplo detalhado do processo de signaling e estabelecimento de conexão entre os participantes de uma videoconferência.

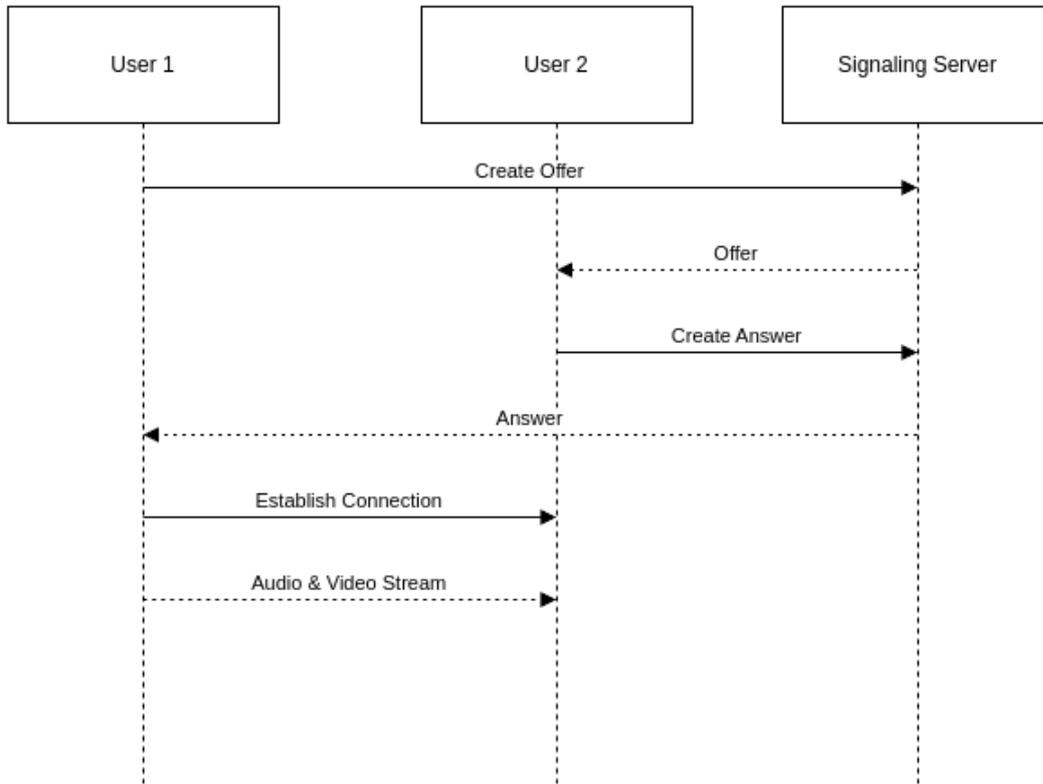


Figura 2.8: Diagrama de sequência de um exemplo de uso da WebRTC em uma Videoconferência

**Explicação do Diagrama:**

- **User1 e User2:** Representam os usuários que estão participando da videoconferência.
- **SignalingServer:** Representa um servidor de sinalização utilizado para troca de informações de controle durante o estabelecimento da conexão.
- **Create Offer e Create Answer:** Representam as etapas do processo de estabelecimento da conexão, onde cada usuário gera uma oferta (offer) ou uma resposta (answer) com base nas características de sua conexão.
- **Establish Connection:** Representa a etapa final do processo, onde os usuários estabelecem uma conexão direta entre si, permitindo a transmissão de áudio e vídeo em tempo real.

O exemplo demonstra como a WebRTC pode ser utilizada para estabelecer comunicações em tempo real entre os participantes de uma videoconferência, utilizando o processo de signaling para negociar parâmetros e estabelecer uma conexão direta entre os navegadores. É através dessa tecnologia que a plataforma proposta possibilita a interação e colaboração entre aplicativos que estão sendo executados em diferentes dispositivos, como detalhado na Seção 5.1.4.1.

### **MediaStream API**

A MediaStream API é uma interface do navegador que permite o acesso à entrada de áudio e vídeo dos dispositivos do usuário, como câmeras e microfones, diretamente no navegador. Ela fornece métodos para capturar, processar e transmitir fluxos de mídia em tempo real, permitindo a criação de aplicativos multimídia avançados, como gravadores de áudio/vídeo, chats por vídeo e ferramentas de reconhecimento de voz.

#### **Principais Funcionalidades:**

- **Acesso à Entrada de Áudio e Vídeo:** A MediaStream API permite o acesso direto à entrada de áudio e vídeo dos dispositivos do usuário, como câmeras e microfones, sem a necessidade de plugins ou software adicional.
- **Captura de Mídia:** É possível capturar e processar fluxos de áudio e vídeo em tempo real, permitindo a criação de aplicativos interativos que respondem a entradas de áudio e vídeo do usuário.
- **Processamento de Mídia:** A API oferece métodos para processar e manipular os fluxos de áudio e vídeo, como ajustar o volume, aplicar filtros de áudio e vídeo e detectar padrões de áudio.
- **Compatibilidade com WebRTC:** A MediaStream API é frequentemente utilizada em conjunto com a WebRTC para capturar e transmitir áudio e vídeo em tempo real durante videoconferências, chamadas de voz e chats por vídeo.
- **Suporte a Dispositivos Móveis:** A API é compatível com dispositivos móveis, permitindo o acesso à câmera e ao microfone dos smartphones e tablets diretamente no navegador.
- **Integração com Outras APIs:** A MediaStream API pode ser integrada com outras APIs do navegador, como a Web Audio API e a Web Speech API, para criar experiências multimídia avançadas e interativas.

- **Privacidade e Segurança:** A API respeita as políticas de privacidade e segurança do navegador, garantindo que o acesso à mídia seja solicitado e autorizado pelo usuário.
- **Acessibilidade:** A MediaStream API oferece suporte a recursos de acessibilidade, como legendas e descrições de áudio, para garantir que os aplicativos sejam acessíveis a todos os usuários.

### Exemplo de Uso:

Suponha um aplicativo web de reconhecimento de voz que utiliza a MediaStream API para capturar a entrada de áudio do usuário e converter em texto. A Figura 2.9 ilustra um exemplo simplificado do uso da MediaStream API para capturar a entrada de áudio do usuário e processá-la em tempo real.

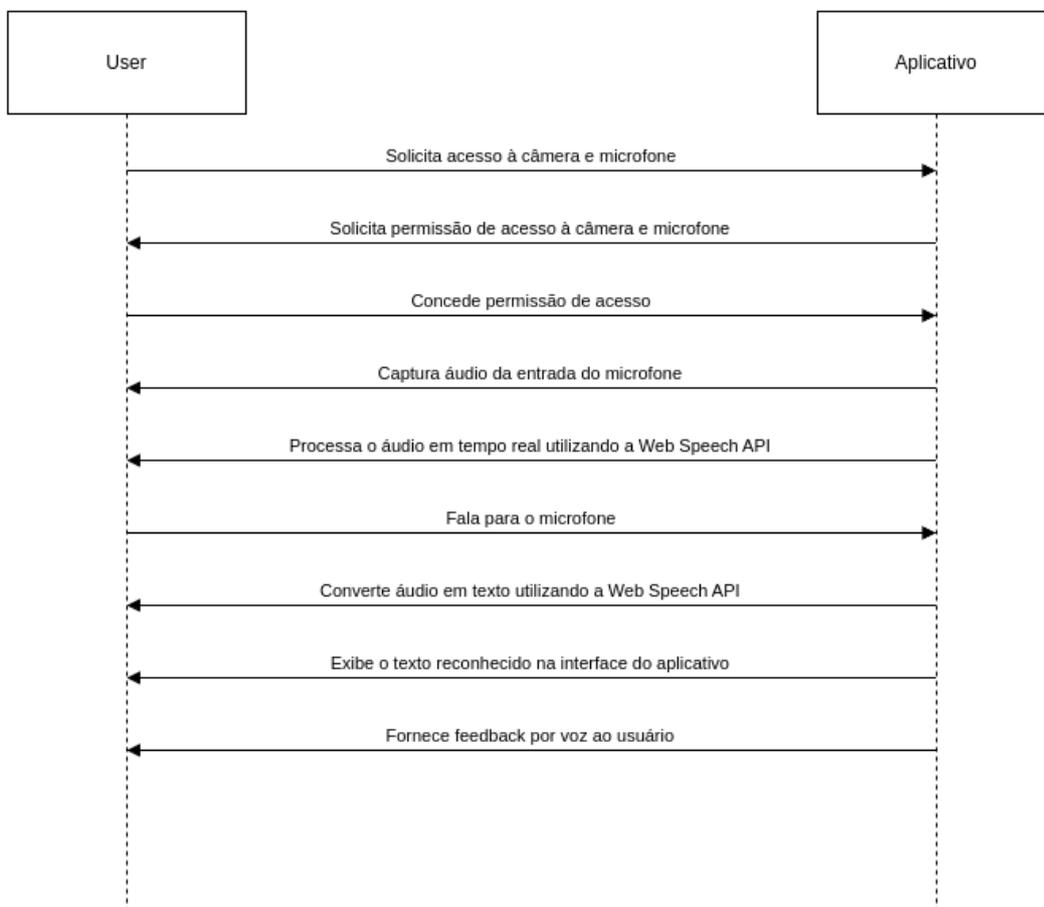


Figura 2.9: Exemplo de Uso da MediaStream API

### Explicação do Diagrama:

- **getUserMedia():** Método utilizado para solicitar permissão ao usuário para acessar a câmera e o microfone do dispositivo.

- **MediaStream:** Representa o fluxo de mídia capturado pela API, que pode ser processado e transmitido em tempo real.
- **Web Speech API:** API utilizada para converter a entrada de áudio em texto, permitindo a interação por voz com o aplicativo.
- **Reconhecimento de Voz:** Ação realizada pelo aplicativo para reconhecer e processar a entrada de áudio do usuário em tempo real.
- **Exibição de Texto:** Ação realizada pelo aplicativo para exibir o texto reconhecido a partir da entrada de áudio do usuário.
- **Feedback por Voz:** Ação realizada pelo aplicativo para fornecer feedback por voz ao usuário, como confirmações e instruções.
- **Processamento de Áudio:** Ação realizada pelo aplicativo para processar e analisar a entrada de áudio do usuário, como detecção de palavras-chave e filtragem de ruído.

A partir desse exemplo simplificado do uso da MediaStream API, é possível compreender que essa API oferece uma ampla gama de possibilidades para a captura, processamento e transmissão de áudio e vídeo em tempo real, permitindo a criação de aplicativos multimídia avançados e interativos. Essa API é amplamente utilizada pelo elemento de aquisição da plataforma, conforme detalhado na Seção 5.1, para oferecer recursos avançados de comunicação e interação entre os usuários, contribuindo para a criação de experiências de usuário mais dinâmicas e imersivas.

### 2.2.3.3

#### Aprendizado de Máquina

O aprendizado de máquina no navegador é uma área em crescimento, que permite a execução de modelos de aprendizado de máquina diretamente no navegador, sem a necessidade de servidores externos ou instalação de software adicional. Isso possibilita a criação de aplicações web mais inteligentes e interativas, que podem processar dados de forma eficiente e fornecer respostas em tempo real. Com exceção da Web Speech API que realiza a tradução de voz para texto (TTS) e texto para voz (STT), não há APIs específicas para o aprendizado de máquina no navegador, mas sim bibliotecas e frameworks que permitem a execução de modelos de aprendizado de máquina em JavaScript, como o framework MediaPipe que foi utilizado na plataforma proposta. A seguir são apresentadas as principais tecnologias relacionadas ao aprendizado de máquina no navegador, que desempenham um papel fundamental na plataforma proposta.

## Web Speech API

A Web Speech API é uma API do navegador que permite o reconhecimento de voz e a síntese de voz em aplicativos da web. Ela oferece métodos para converter a entrada de fala do usuário em texto e vice-versa, possibilitando a criação de aplicativos interativos baseados em voz, como assistentes virtuais e comandos de voz.

### Principais Funcionalidades:

- **Reconhecimento de Voz:** A Web Speech API permite o reconhecimento de fala do usuário em texto, utilizando serviços de reconhecimento de voz baseados em servidor em navegadores compatíveis, como o Google Chrome. Porém, é importante notar que em alguns navegadores, como o Chrome, o reconhecimento de fala em uma página da web envolve um mecanismo de reconhecimento baseado em servidor. O áudio do usuário é enviado para um serviço da web para processamento de reconhecimento, então ele não funcionará offline.
- **Síntese de Voz:** A API também permite a síntese de voz a partir de texto, possibilitando que os aplicativos da web forneçam feedback de áudio ao usuário por meio de mensagens de voz.
- **Compatibilidade com Dispositivos Móveis:** A Web Speech API é compatível com dispositivos móveis, permitindo o reconhecimento e a síntese de voz em smartphones e tablets.
- **Integração com Outras APIs:** A API pode ser integrada com outras APIs do navegador, como a MediaStream API, para criar aplicativos multimídia avançados que combinam entrada de voz e vídeo em tempo real.
- **Privacidade e Segurança:** Assim como outras APIs do navegador, a Web Speech API respeita as políticas de privacidade e segurança do navegador, garantindo que o acesso à entrada de voz seja solicitado e autorizado pelo usuário.
- **Acessibilidade:** A API oferece suporte a recursos de acessibilidade, como a leitura de texto em voz alta, para garantir que os aplicativos sejam acessíveis a todos os usuários, incluindo aqueles com deficiências visuais.

### Exemplo de Uso:

Um exemplo de uso da Web Speech API é ilustrado na Figura 2.10, onde

o diagrama de sequência mostra a interação entre o usuário, o aplicativo, a MediaStream API e a Web Speech API para o processo de reconhecimento e síntese de fala. O usuário interage com o aplicativo, que utiliza a MediaStream API para capturar o áudio do dispositivo. Em seguida, o áudio é processado pela Web Speech API para reconhecimento de fala, e o texto reconhecido é exibido ao usuário. Posteriormente, o texto é sintetizado em fala pela Web Speech API, e o áudio resultante é reproduzido para o usuário, que também pode receber feedback por voz.

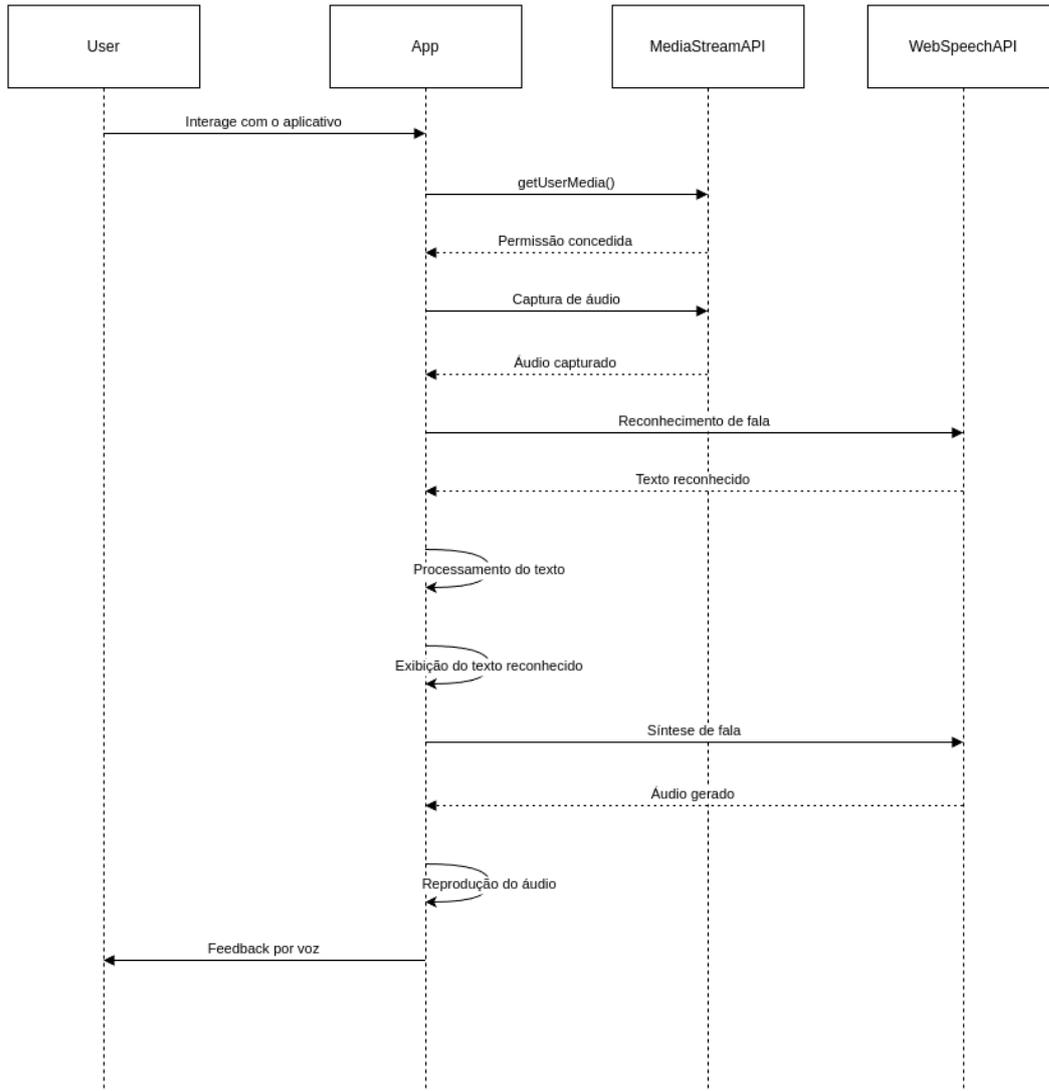


Figura 2.10: Exemplo de Uso da Web Speech API

#### Explicação do Diagrama:

- **Usuário (User):** Representa o usuário que interage com o aplicativo.
- **Aplicativo (App):** O aplicativo web que utiliza a MediaStream API e a Web Speech API para o reconhecimento e a síntese de fala.

- **MediaStream API:** Responsável por capturar o áudio do dispositivo do usuário.
- **Web Speech API:** Responsável pelo reconhecimento de fala e pela síntese de fala.
- **getUserMedia():** Método da MediaStream API usado para solicitar permissão ao usuário para acessar o microfone do dispositivo.
- **Permissão concedida:** Confirmação de que o usuário concedeu permissão para acessar o microfone.
- **Captura de áudio:** A MediaStream API captura o áudio do dispositivo.
- **Áudio capturado:** Confirmação de que o áudio foi capturado com sucesso.
- **Reconhecimento de fala:** O texto é extraído do áudio capturado usando a Web Speech API.
- **Texto reconhecido:** Confirmação de que o texto foi reconhecido com sucesso.
- **Processamento do texto:** O texto reconhecido pode ser processado pelo aplicativo conforme necessário.
- **Exibição do texto reconhecido:** O texto reconhecido é exibido ao usuário no aplicativo.
- **Síntese de fala:** O texto processado é sintetizado em áudio pela Web Speech API.
- **Áudio gerado:** Confirmação de que o áudio foi gerado com base no texto sintetizado.
- **Reprodução do áudio:** O áudio sintetizado é reproduzido para o usuário no aplicativo.
- **Feedback por voz:** O usuário pode receber feedback adicional por voz, como confirmações ou instruções.

A Web Speech API oferece uma ampla gama de possibilidades para a integração de recursos de reconhecimento e síntese de voz em aplicativos da web, contribuindo para a criação de experiências de usuário mais interativas e acessíveis.

## MediaPipe

O MediaPipe é um framework de código aberto que permite o desenvolvimento de pipelines de processamento de mídia em tempo real para diversas aplicações, desde visão computacional e realidade aumentada até análise de mídia e interfaces homem-máquina. Com o MediaPipe, é possível:

- Criar pipelines de processamento de mídia com alto desempenho e flexibilidade.
- Usar uma ampla variedade de ferramentas e componentes pré-construídos para acelerar o desenvolvimento.
- Implementar soluções complexas de visão computacional e análise de mídia com menos código.

O MediaPipe é compatível com uma variedade de dispositivos e plataformas, incluindo desktops, dispositivos móveis e navegadores da web, e oferece suporte para uma ampla gama de entradas de mídia, como vídeo, áudio e imagens. Além disso, o MediaPipe é altamente modular e extensível, permitindo a criação de pipelines personalizados para atender às necessidades específicas de cada aplicação. Ele é utilizado em tarefas de visão computacional, como detecção de objetos, rastreamento facial, rastreamento de mãos, reconhecimento de gestos; em tarefas de classificação de áudio; e tarefas de análise de texto, como classificação de texto, análise de sentimentos, entre outras.

## Arquitetura

Como informado por (LUGARESI et al., 2019), o MediaPipe é constituído por três elementos principais: um framework para inferência a partir de dados sensoriais (áudio ou vídeo), um conjunto de ferramentas para avaliação de desempenho e componentes reutilizáveis para inferência e processamento.

Os principais componentes do MediaPipe são(LUGARESI et al., 2019):

- **Packet:** A unidade básica de fluxo de dados é chamada de “packet” (pacote). Ele consiste em um timestamp numérico e um ponteiro compartilhado para um payload imutável.
- **Graph:** O processamento ocorre dentro de um grafo que define os caminhos de fluxo dos pacotes entre os nós. Um gráfico pode ter qualquer número de entradas e saídas, e ramificar ou mesclar dados.
- **Nodes:** Os nodes (nós) são onde a maior parte do trabalho do grafo é realizada. Também são chamados de “calculators” (por razões históricas) e produzem ou consomem pacotes. A interface de cada nó define um número de portas de entrada e saída.

- **Streams:** Um stream é uma conexão entre dois nós que transporta uma sequência de pacotes com timestamps crescentes.

Além desses componentes básicos, existem componentes mais avançados, como Side Packets, Packet Ports, Políticas de Entrada, etc. Esses elementos formam a base do MediaPipe, permitindo o processamento eficiente e flexível de dados sensoriais, como áudio e vídeo, e facilitando o desenvolvimento de soluções de visão computacional e análise de mídia.

Na Figura 2.11, é apresentada uma visão geral da arquitetura do MediaPipe, mostrando os principais componentes e como eles se relacionam entre si. O MediaPipe é composto por um conjunto de ferramentas e componentes que permitem a criação de pipelines de processamento de mídia personalizados e de alto desempenho.

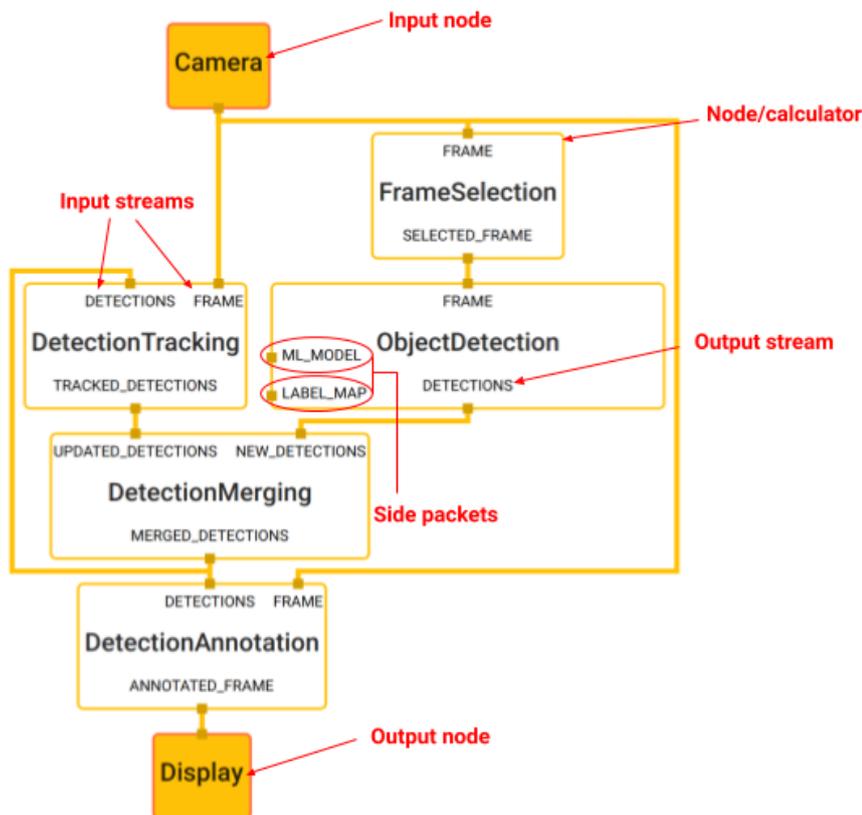


Figura 2.11: Visão geral da arquitetura do MediaPipe, fonte: (MODI, 2021)

### Exemplo: Rastreamento de Mãos com MediaPipe

O modelo de rastreamento de mãos apresentado por (ZHANG et al., 2020) é um exemplo de aplicação de visão computacional que utiliza o framework MediaPipe para processamento de mídia em tempo real. O modelo é

capaz de detectar e rastrear as mãos em uma imagem ou vídeo, identificando a posição e a pose das mãos, bem como os keypoints associados a cada dedo.

A Figura 2.12 ilustra o grafo de processamento do modelo de rastreamento de mãos de (ZHANG et al., 2020) executado no navegador por meio da API MediaStream, que permite a captura de áudio e vídeo em tempo real, e da API WebGL, que permite a renderização de gráficos 3D no navegador e que também é utilizada durante a inferência do modelo, que é composto por várias etapas de processamento, incluindo a detecção de mãos, a extração de keypoints e a estimativa da pose da mão. O grafo de processamento é uma representação visual do modelo de aprendizado de máquina, mostrando as diferentes camadas e operações que compõem o modelo.

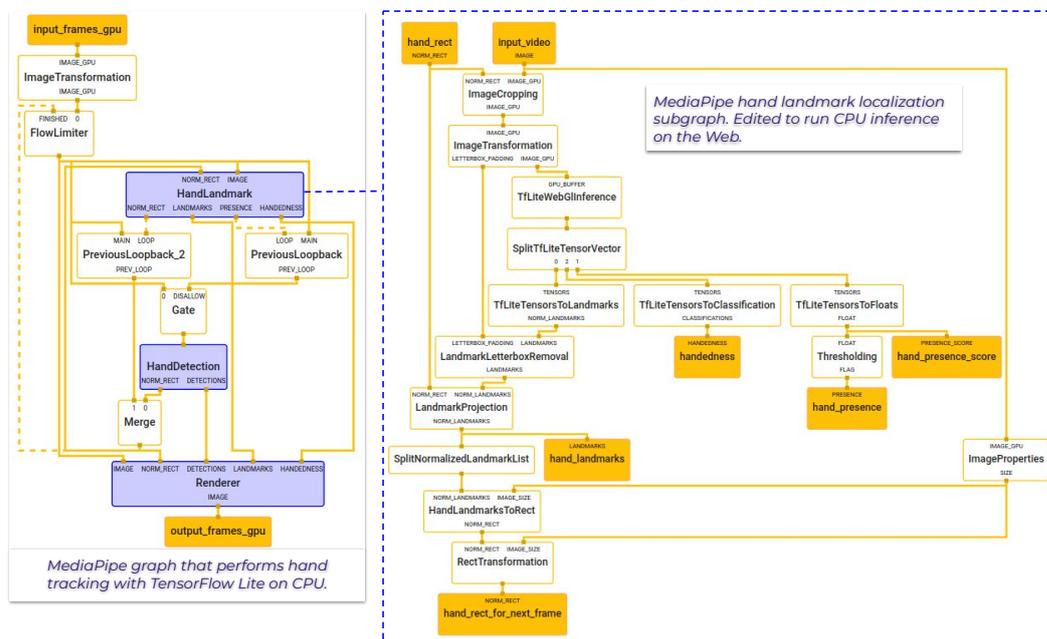


Figura 2.12: Grafos de processamento de um modelo de rastreamento de mãos do MediaPipe. O grafo da esquerda mostra o modelo completo, enquanto o da direita é um subgrafo responsável a extração de keypoints da mão, sendo a inferência realizada na web.

## MediaPipe na Web

O MediaPipe é compatível com a web e pode ser executado em navegadores da web por meio da API WebAssembly (HAYS; MULLEN, 2020), que permite a execução de código de baixo nível, como o código gerado pelo MediaPipe, de forma mais eficiente no navegador. Algumas características importantes incluem (HAYS; MULLEN, 2020):

- **Compilação com Emscripten:** Utilizado o Emscripten para compilar diretamente todo o código C++ necessário em WebAssembly, que é uma forma especial de código de baixo nível projetada especificamente para navegadores da web.
- **API de Comunicação:** Possui uma API simples para todas as comunicações necessárias entre JavaScript e C++, permitindo alterar e interagir com o gráfico do MediaPipe diretamente do JavaScript.
- **Empacotamento dos Assets:** Todos os assets necessários (modelos de ML e arquivos de texto/dados auxiliares) são empacotados como pacotes de dados binários individuais, a são carregados em tempo de execução.
- **Suporte a WebGL:** Para gráficos e renderização, o MediaPipe permite acessar automaticamente o WebGL diretamente, de modo que a maioria dos calculador baseados em OpenGL possam funcionar adequadamente na web.

### Desempenho na Web

Com relação ao desempenho, ao executar o WebAssembly, geralmente é muito mais rápido do que o JavaScript puro, mas geralmente é muito mais lento do que o C++ nativo. Conforme (HAYS; MULLEN, 2020), para proporcionar uma melhor experiência ao usuário, são feitas várias otimizações, como a utilização da GPU para operações de imagem sempre que possível e o uso das versões mais leves dos modelos de aprendizado de máquina. No entanto, como os shaders de computação, através de WebGPU, não estão amplamente disponíveis em todos os navegadores web, muitas vezes a inferência na CPU pode ser um gargalo significativo de desempenho. Para mitigar esse problema, o “TfLiteInferenceCalculator” é aprimorado ao utilizar a Biblioteca de Inferência de Aprendizado de Máquina XNNPack, proporcionando um aumento de velocidade de 2 a 3 vezes na maioria das aplicações(HAYS; MULLEN, 2020).

#### 2.2.3.4

##### Realidade Estendida

A WebXR é uma coleção de padrões que fornece as funcionalidades necessárias para levar a Realidade Estendida (XR) para a web. Isso significa que, em vez de precisar baixar e instalar aplicativos específicos para cada dispositivo de Realidade Virtual (VR) ou Realidade Aumentada (AR), os usuários poderão acessar essas experiências através do próprio navegador. A função da WebXR Device API é gerenciar a interação entre o navegador e os dispositivos de saída, garantindo uma experiência imersiva e interativa para o usuário final.

A WebXR é compatível com uma variedade de dispositivos, incluindo headsets 3D totalmente imersivos com rastreamento de movimento e orientação, óculos que sobrepoem gráficos à cena do mundo real através das lentes e smartphones que aprimoram a realidade capturando o mundo com uma câmera e adicionando imagens geradas por computador à cena. Alguns dos dispositivos suportados pela WebXR incluem:

- Dispositivos compatíveis com ARCore
- Google Daydream
- HTC Vive
- Magic Leap One
- Microsoft HoloLens
- Oculus Rift
- Samsung Gear VR
- Headsets de Realidade Mista do Windows

As informações a seguir fornecem uma visão geral da WebXR, incluindo seus objetivos, funcionalidades e ciclo de vida típico de uma aplicação WebXR.

## **Objetivos**

A WebXR foi desenvolvida com uma série de objetivos em mente, buscando promover uma experiência XR mais integrada e acessível para os usuários da web. Dentre os principais objetivos da WebXR, destacam-se:

- Habilitar aplicações XR na web, permitindo que as páginas detectem e utilizem as capacidades XR dos dispositivos dos usuários.
- Proporcionar uma maneira padronizada de acessar dispositivos XR, permitindo que os desenvolvedores criem experiências imersivas de forma consistente em diferentes plataformas e dispositivos.
- Permitir a integração de elementos virtuais com o mundo real, criando experiências de RA que enriquecem a percepção do usuário sobre o ambiente ao seu redor.
- Facilitar o desenvolvimento de aplicativos XR acessíveis e inclusivos, garantindo que as experiências sejam compatíveis com uma ampla variedade de dispositivos e necessidades dos usuários.

## Funcionalidades

A WebXR oferece uma variedade de funcionalidades essenciais para criar experiências imersivas e interativas. Algumas das principais funcionalidades da WebXR incluem:

- **Interface com hardware de realidade mista:** A WebXR permite que conteúdos e aplicativos web interajam com dispositivos de realidade mista, como headsets de VR e óculos com recursos de realidade aumentada integrados.
- **Renderização de visualizações 3D:** A API gerencia o processo de renderização das visualizações necessárias para simular a experiência 3D.
- **Detecção de movimento:** A WebXR possibilita a detecção do movimento do headset (ou outro equipamento de detecção de movimento) e fornece os dados necessários para atualizar as imagens mostradas ao usuário.
- **Suporte para dispositivos de controle:** Além disso, a WebXR oferece suporte para receber entradas de dispositivos de controle, como controladores de VR portáteis ou gamepads especializados de realidade mista.

Apesar de suas funcionalidades avançadas, é importante ressaltar as seguintes observações sobre a WebXR:

- **Não é uma tecnologia de renderização:** A WebXR não é uma tecnologia de renderização e não fornece recursos para gerenciar dados 3D ou renderizá-los na tela.
- **Não oferece recursos para gerenciar modelos 3D:** Embora a WebXR gerencie o tempo, o agendamento e os vários pontos de vista relevantes ao desenhar a cena, ela não sabe como carregar e gerenciar modelos, nem como renderizá-los e aplicar texturas, entre outros aspectos. Essa parte é inteiramente de responsabilidade do desenvolvedor.
- **Dependência de tecnologias complementares:** A WebXR pode ser complementada com o uso de tecnologias como WebGL, WebGPU e diversas bibliotecas e frameworks baseados nessas APIs, que tornam muito mais fácil lidar com os aspectos de renderização e interação 3D.

## Ciclo de Vida

O diagrama de estados ilustrado na Figura 2.13, representa o ciclo de vida típico de uma aplicação WebXR, desde sua inicialização até a conclusão da sessão XR. O diagrama fornece uma visão geral do fluxo de trabalho típico de uma aplicação WebXR, desde a verificação da compatibilidade até o encerramento da sessão XR. Ele ilustra os principais estados pelos quais a aplicação passa durante seu ciclo de vida.

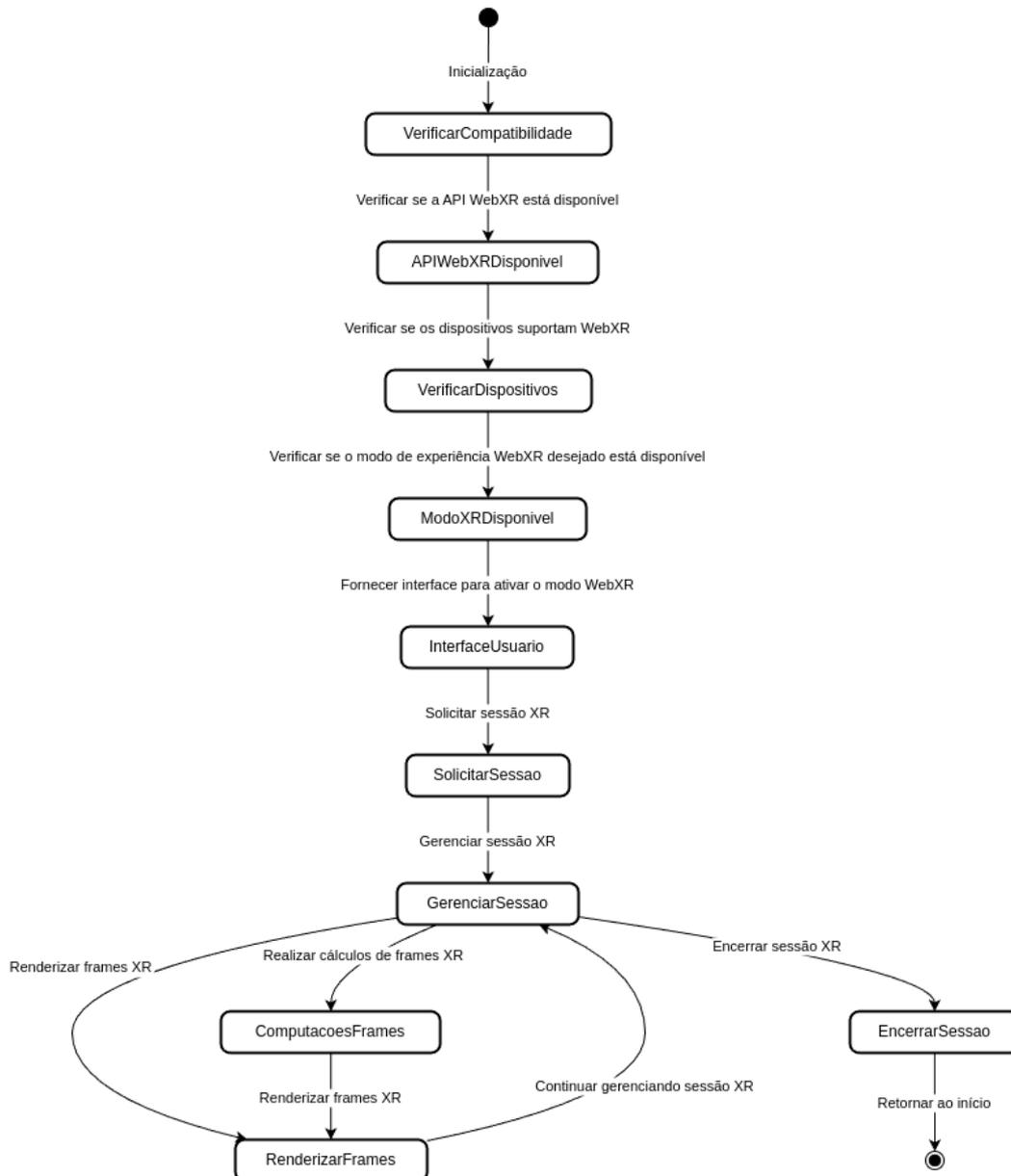


Figura 2.13: Diagrama de estados do ciclo de vida típico de uma aplicação WebXR.

## Explicação do Diagrama

- **Inicialização (Verificação de Compatibilidade):** Neste estado inicial, a aplicação verifica se o dispositivo e o navegador do usuário são compatíveis com WebXR.
- **Verificar se a API WebXR está disponível:** Após a verificação da compatibilidade, a aplicação verifica se a API WebXR está disponível no navegador do usuário.
- **Verificar se os dispositivos suportam WebXR:** Em seguida, a aplicação verifica se os dispositivos do usuário suportam o modo de experiência WebXR desejado.
- **Verificar se o modo de experiência WebXR desejado está disponível:** Esta etapa verifica se o modo de experiência WebXR desejado (inline, immersive-vr ou immersive-ar) está disponível para uso.
- **Fornecer interface para ativar o modo WebXR:** Se o modo de experiência estiver disponível, a aplicação oferece uma interface para que o usuário possa ativar o modo WebXR desejado.
- **Solicitar sessão XR:** Quando o usuário solicita ativar o modo WebXR, a aplicação solicita uma sessão XR usando o modo de experiência selecionado.
- **Gerenciar sessão XR:** Uma vez que a sessão XR é criada com sucesso, a aplicação começa a gerenciar a sessão, o que envolve o gerenciamento de inputs, animações e renderização.
- **Renderizar frames XR:** Durante a sessão XR, a aplicação renderiza os frames necessários para proporcionar uma experiência imersiva ao usuário.
- **Realizar cálculos de frames XR:** Se a cena for complexa, a aplicação pode optar por realizar cálculos de frames em um Worker separado para evitar atrasos na renderização.
- **Continuar gerenciando sessão XR:** A aplicação continua gerenciando a sessão XR e renderizando frames até que o usuário decida encerrar a sessão.
- **Encerrar sessão XR:** Quando a sessão XR é encerrada, seja pelo usuário ou pela aplicação, a aplicação retorna ao estado inicial para futuras interações do usuário.

A WebXR apresenta um potencial significativo para transformar a maneira como as pessoas interagem com a tecnologia e o mundo ao seu redor. Isso abre novas possibilidades para comunicação, colaboração, educação e entretenimento na web. Ao permitir que os desenvolvedores criem experiências XR acessíveis e inclusivas, a WebXR está democratizando o acesso à realidade estendida e impulsionando a inovação em diversas áreas.

## 3

### Revisão Sistemática da Literatura

Neste capítulo, apresenta-se uma revisão sistemática da literatura realizada com o intuito de identificar trabalhos que promovam, principalmente no Brasil, a Educação Inclusiva através da utilização de ML e XR na construção de ferramentas que auxiliem os professores no processo de ensino-aprendizagem de estudantes diagnosticados com TEA e TDAH dos primeiros anos do Ensino Fundamental.

Conforme (KITCHENHAM, 2004), a revisão sistemática é uma abordagem estruturada para identificar, analisar e interpretar todas as pesquisas relevantes disponíveis sobre um tópico de pesquisa, destacando-se por exigir uma inspeção rigorosa e confiável, que leva a uma avaliação não tendenciosa sobre um determinado tópico de pesquisa. Além disso, a revisão sistemática é particularmente útil para identificar lacunas na literatura e para fornecer uma visão geral do estado da arte em um determinado campo de pesquisa.

Nessa revisão sistemática, foram seguidos os passos propostos por (KITCHENHAM, 2004), os quais compreendem três etapas: 1) Planejamento, que inclui a definição de questões e estratégias de pesquisa, bem como critérios de inclusão e exclusão; 2) Condução da revisão, descrevendo como a revisão foi realizada, as bases de dados eletrônicas consideradas e os estudos selecionados; e 3) Relatório da revisão, detalhando a análise dos estudos selecionados para responder às questões de pesquisa levantadas e identificar as lacunas na literatura. Essas três etapas são discutidas nas seções subsequentes.

#### 3.1

##### Planejamento da Revisão

Nesta etapa da revisão, foram definidas as questões de pesquisa, as estratégias de pesquisa e os termos de busca, bem como os critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos.

##### 3.1.1

##### Questões de Pesquisa

As questões elaboradas a seguir fornecem uma base para investigar o estado atual da literatura sobre o papel dos algoritmos de aprendizagem de máquina e da realidade estendida para a construção de ferramentas de suporte ao professor para a ludificação das atividades escolares voltada aos estudantes

dos primeiros anos do Ensino Fundamental diagnosticados com TEA e/ou TDAH.

- **RSLQ1:** *Qual é o papel dos algoritmos de aprendizagem de máquina na personalização e adaptação das atividades ludificadas para atender às necessidades específicas de estudantes com TEA e/ou TDAH?*
- **RSLQ2:** *Como a realidade estendida tem sido integrada às atividades ludificadas para promover o engajamento e a aprendizagem de estudantes dos primeiros anos do Ensino Fundamental diagnosticados com TEA e/ou TDAH?*
- **RSLQ3:** *Quais são as ferramentas disponíveis para auxiliar os professores na implementação de atividades ludificadas para estudantes com TEA e/ou TDAH dos primeiros anos do Ensino Fundamental que fazem uso de ML e/ou XR nesse contexto educacional?*

### 3.1.2

#### Estratégias de Pesquisa

Para realizar a revisão sistemática, primeiramente, foi elaborada a string de busca, que consiste em uma sequência de termos e operadores lógicos que são utilizados para recuperar os estudos relevantes nas bases de dados eletrônicas. Para a construção da string de busca, foram adotadas as seguintes ações:

1. **Extração de Palavras-Chave:** Inicialmente, foram identificadas as palavras-chave a partir das questões de pesquisa.
2. **Definição de Sinônimos e Termos Relacionados:** Em seguida, foram estabelecidos sinônimos e termos relacionados às palavras-chave para garantir uma busca abrangente e precisa.
3. **Aplicação de Operadores Lógicos:** Posteriormente, foram utilizados os operadores lógicos AND e OR para conectar os termos, resultando na formação de uma string de busca otimizada.

Com a string de busca definida, o conjunto de passos a seguir foi aplicado para realizar a revisão sistemática da literatura.

1. **Busca nas Bases de Dados Eletrônicas:** Realizou-se a busca de estudos nas bases de dados eletrônicas, utilizando a string de busca elaborada.

2. **Seleção com Base nos Títulos e/ou Resumos:** Os estudos recuperados na etapa anterior foram avaliados com base em seus títulos e/ou resumos, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos conforme as questões de pesquisa.
3. **Leitura Integral dos Trabalhos Selecionados:** Os trabalhos identificados como relevantes foram selecionados para leitura na íntegra, seguindo os critérios definidos.
4. **Coleta, Tabulação e Análise de Dados:** Por fim, os dados pertinentes foram coletados, tabulados e analisados de acordo com os objetivos da revisão sistemática.

### 3.1.3

#### Termos de Busca

Nesta seção, são apresentados os termos de busca utilizados para recuperar estudos pertinentes ao tema da ludificação das atividades escolares, com foco na inclusão de estudantes com Transtorno do Espectro Autista (TEA) e/ou Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH) nos primeiros anos do Ensino Fundamental, e o uso de algoritmos de aprendizagem de máquina (ML) e realidade estendida (XR) para criar as ferramentas que apoiam os professores nesse contexto educacional.

Os termos de busca foram desenvolvidos com base nas questões de pesquisa identificadas na revisão, visando abranger os principais aspectos do tema em questão. As palavras-chave, sinônimos e termos relacionados foram elaborados tanto em português, com a finalidade de encontrar trabalhos que estejam no contexto da Educação Inclusiva no Brasil, quanto em inglês, para abranger a abordagem internacional do tema.

**RSLQ1:** *Qual é o papel dos algoritmos de aprendizagem de máquina na personalização e adaptação das atividades ludificadas para atender às necessidades específicas de estudantes com TEA e/ou TDAH?*

**Palavras-Chave:** aprendizado de máquina, personalização, adaptação, atividades ludificadas, TEA, TDAH.

#### Sinônimos e Termos Relacionados:

- *aprendizado de máquina:* inteligência artificial, algoritmos de aprendizado de máquina.

- *personalização*: customização, individualização, adaptação.
- *atividades ludificadas*: gamificação, jogos educativos, atividades lúdicas.
- *TEA*: Transtorno do Espectro Autista, autismo.
- *TDAH*: Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade, déficit de atenção.

**RSLQ2:** *Como a realidade estendida tem sido integrada às atividades ludificadas para promover o engajamento e a aprendizagem de estudantes dos primeiros anos do Ensino Fundamental diagnosticados com TEA e/ou TDAH?*

**Palavras-Chave:** realidade estendida, atividades ludificadas, engajamento, aprendizagem, TEA, TDAH.

**Sinônimos e Termos Relacionados:**

- *realidade estendida*: realidade virtual, VR, realidade aumentada, AR, realidade mista.
- *atividades ludificadas*: gamificação, jogos educativos, atividades lúdicas.
- *engajamento*: envolvimento, participação, motivação.
- *TEA*: Transtorno do Espectro Autista, autismo.
- *TDAH*: Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade, déficit de atenção.

**RSLQ3:** *Quais são as ferramentas disponíveis para auxiliar os professores na implementação de atividades ludificadas para estudantes com TEA e/ou TDAH dos primeiros anos do Ensino Fundamental e que fazem uso de ML e/ou XR nesse contexto educacional?*

**Palavras-Chave:** ferramentas de suporte ao professor, atividades ludificadas, TEA, TDAH, ML, XR.

**Sinônimos e Termos Relacionados:**

- *ferramentas de suporte ao professor*: recursos educacionais, tecnologias para professores, assistência pedagógica.
- *atividades ludificadas*: gamificação, jogos educativos, atividades lúdicas.
- *TEA*: Transtorno do Espectro Autista, autismo.

- *TDAH*: Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade, déficit de atenção.
- *ML (Aprendizado de Máquina)*: inteligência artificial, aprendizado de máquina, algoritmos de aprendizado de máquina.
- *XR (Realidade Estendida)*: realidade estendida, realidade virtual, realidade aumentada, realidade mista.

Em seguida estão as traduções para inglês das questões, palavras-chave, sinônimos e termos relacionados.

**RSLQ1:** *What is the role of machine learning algorithms in personalizing and adapting playful activities to meet the specific needs of students with ASD and/or ADHD?*

**Keywords:** machine learning, personalization, adaptation, playful activities, ASD, ADHD.

**Synonyms and Related Terms:**

- *machine learning*: machine learning algorithms, artificial intelligence, ML.
- *personalization*: customization, individualization, adaptation.
- *playful activities*: playfulness activity, educational games, gamification, gamified activities.
- *ASD*: Autism Spectrum Disorder, autism.
- *ADHD*: Attention Deficit Hyperactivity Disorder, attention deficit disorder.

**RSLQ2:** *How has extended reality been integrated into gamified activities to promote engagement and learning for students in the early years of elementary school diagnosed with ASD and/or ADHD?*

**Keywords:** extended reality, playful activities, engagement, learning, ASD, ADHD.

**Synonyms and Related Terms:**

- *extended reality*: XR, VR, virtual reality, AR, augmented reality, MR, mixed reality.

- *playful activities*: playfulness activity, educational games, gamification, gamified activities.
- *engagement*: involvement, participation, motivation.
- *ASD*: Autism Spectrum Disorder, autism.
- *ADHD*: Attention Deficit Hyperactivity Disorder, attention deficit disorder.

**RSLQ3:** *What are the available tools to assist teachers in implementing gamified activities for students with ASD and/or ADHD in the early years of elementary school that make use of ML and/or XR in this educational context?*

**Keywords:** teacher support tools, playful activities, ASD, ADHD, ML, XR.

#### **Synonyms and Related Terms:**

- *teacher support tools*: educational resources, teacher technologies, pedagogical assistance.
- *playful activities*: playfulness activity, educational games, gamification, gamified activities.
- *ASD*: Autism Spectrum Disorder, autism.
- *ADHD*: Attention Deficit Hyperactivity Disorder, attention deficit disorder.
- *ML (Machine Learning)*: machine learning algorithms, artificial intelligence, ML.
- *XR (Extended Reality)*: extended reality, virtual reality, augmented reality, mixed reality.

A seguir, são apresentadas as strings de busca construídas a partir desses termos de busca, que serão utilizadas para recuperar artigos relevantes nas principais bases de dados científicas.

#### 1. **RSLQ1:**

("aprendizado de máquina"OR "inteligência artificial"OR "algoritmo? de aprendizado de máquina"OR "machine learning"OR "machine learning algorithm?"OR "artificial intelligence"OR "ML") AND ("personalização"OR "customização"OR "individualização"OR "adaptação"OR

"personalization"OR "customization"OR "individualization"OR "adaptation") AND ("atividade? ludificada?"OR "gamificação"OR "jogo? educativo?"OR "atividade? lúdica?"OR "playful activit\*"OR "playfulness activit\*"OR "educational game?"OR "gamification"OR "gamified activit\*") AND (("TEA"OR "Transtorno do Espectro Autista"OR "autismo"OR "ASD"OR "Autism Spectrum Disorder"OR "autism") OR ("TDAH"OR "Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade"OR "déficit de atenção"OR "ADHD"OR "Attention Deficit Hyperactivity Disorder"OR "attention deficit disorder")).

## 2. RSLQ2:

("realidade estendida"OR "realidade virtual"OR "VR"OR "realidade aumentada"OR "AR"OR "realidade mista"OR "extended reality"OR "XR"OR "virtual reality"OR "VR"OR "augmented reality"OR "AR"OR "mixed reality"OR "MR") AND ("atividade? ludificada?"OR "gamificação"OR "jogo? educativo?"OR "atividade? lúdica?"OR "playful activit\*"OR "playfulness activit\*"OR "educational game?"OR "gamification"OR "gamified activit\*") AND (("TEA"OR "Transtorno do Espectro Autista"OR "autismo"OR "ASD"OR "Autism Spectrum Disorder"OR "autism") OR ("TDAH"OR "Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade"OR "déficit de atenção"OR "ADHD"OR "Attention Deficit Hyperactivity Disorder"OR "attention deficit disorder")).

## 3. RSLQ3:

("ferramenta? de suporte ao? professor\*"OR "recurso? educacional\*"OR "tecnologia? para professor\*"OR "assistência pedagógica"OR "teacher support tool?"OR "educational resource?"OR "teacher technolog\*"OR "pedagogical assistance") AND ("atividade? ludificada?"OR "gamificação"OR "jogo? educativo?"OR "atividade? lúdica?"OR "playful activit\*"OR "playfulness activit\*"OR "educational game?"OR "gamification"OR "gamified activit\*") AND (("TEA"OR "Transtorno do Espectro Autista"OR "autismo"OR "ASD"OR "Autism Spectrum Disorder"OR "autism") OR ("TDAH"OR "Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade"OR "déficit de atenção"OR "ADHD"OR "Attention Deficit Hyperactivity Disorder"OR "attention deficit disorder")) AND (("aprendizado de máquina"OR "inteligência artificial"OR "algoritmo? de aprendizado de máquina"OR "machine learning"OR "machine learning algorithm?"OR "artificial intelligence"OR "ML") OR ("realidade estendida"OR "realidade virtual"OR "VR"OR "realidade aumentada"OR "AR"OR "realidade mista"OR "extended reality"OR "XR"OR "virtual re-

ality"OR "VR"OR "augmented reality"OR "AR"OR "mixed reality"OR "MR").

A string de busca combinada que abrange todos os aspectos relevantes das questões de pesquisa, incluindo os diferentes termos e sinônimos utilizados, é a seguinte:

("personalização"OR "customização"OR "individualização"OR "adaptação"OR "personalization"OR "customization"OR "individualization"OR "adaptation") AND ("atividade? ludificada?"OR "gamificação"OR "jogo? educativo?"OR "atividade? lúdica?"OR "playful activit\*"OR "playfulness activit\*"OR "educational game?"OR "gamification"OR "gamified activit\*") AND (("TEA"OR "Transtorno do Espectro Autista"OR "autismo"OR "ASD"OR "Autism Spectrum Disorder"OR "autism") OR ("TDAH"OR "Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade"OR "déficit de atenção"OR "ADHD"OR "Attention Deficit Hyperactivity Disorder"OR "attention deficit disorder")) AND ("ferramenta? de suporte ao? professor\*"OR "recurso? educacional\*"OR "tecnologia? para professor\*"OR "assistência pedagógica"OR "teacher support tool?"OR "educational resource?"OR "teacher technolog\*"OR "pedagogical assistance") AND (("aprendizado de máquina"OR "inteligência artificial"OR "algoritmo? de aprendizado de máquina"OR "machine learning"OR "machine learning algorithm?"OR "artificial intelligence"OR "ML") OR ("realidade estendida"OR "realidade virtual"OR "VR"OR "realidade aumentada"OR "AR"OR "realidade mista"OR "extended reality"OR "XR"OR "virtual reality"OR "VR"OR "augmented reality"OR "AR"OR "mixed reality"OR "MR"))

#### 3.1.4

##### **CrITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO**

Os critérios de inclusão e exclusão apresentados a seguir, foram estabelecidos com base nas questões de pesquisa e nos objetivos da revisão sistemática.

##### **CrITÉRIOS DE INCLUSÃO**

Foram considerados os seguintes critérios de inclusão para a seleção dos trabalhos:

- **Relevância:** Trabalhos que abordam a utilização de ML e/ou XR para a promoção da Educação Inclusiva.

- **Ano de Publicação:** Trabalhos publicados entre janeiro de 2018 a dezembro de 2023.
- **Idioma:** Trabalhos publicados em inglês ou português.
- **Tipo de Publicação:** Trabalhos publicados nas áreas de ciências da computação ou informática educativa em anais de congressos ou revistas.
- **Acesso:** Trabalhos disponíveis na íntegra.
- **Revisão por Pares:** Trabalhos revisados por pares.

### **Crítérios de Exclusão**

Foram considerados os seguintes critérios de exclusão para a seleção dos trabalhos:

- **Relevância:** Trabalhos que não abordam a utilização de ML ou XR no contexto da Educação Inclusiva para estudantes com TEA e/ou TDAH.
- **Tipo de Publicação:** Revisões ou mapeamentos sistemáticos da literatura, resumos, editoriais, cartas, notas, relatórios técnicos, livros e capítulos de livros.
- **Duplicidade:** Trabalhos encontrados em mais de uma base.

## **3.2**

### **Condução da Revisão**

Foram selecionadas as seguintes bases de dados eletrônicas para a realização da revisão sistemática da literatura: ACM Digital Library, IEEE Xplore, Scopus e Springer Link. Devido as bases de dados Scopus e Springer Link possuírem estudos de diversas áreas do conhecimento, foi realizada a busca somente para os trabalhos das áreas de ciências da computação e informática educativa.

A busca nas bases de dados eletrônicas foi realizada utilizando as strings de busca elaboradas, conforme apresentado na seção 3.1.3. Os resultados da busca foram exportados para um arquivo e, em seguida, foram importados para a ferramenta de gerenciamento de referências bibliográficas Zotero<sup>1</sup>, onde foram realizadas as etapas de seleção e análise dos trabalhos. A seleção dos trabalhos foi realizada com base nos critérios de inclusão e exclusão estabelecidos, conforme apresentado na seção 3.1.4. Os trabalhos selecionados foram organizados em pastas no Zotero, de acordo com a etapa da revisão em que se encontravam, e foram utilizados para a leitura na íntegra e análise detalhada. A análise dos trabalhos selecionados foi realizada com o intuito

<sup>1</sup><https://www.zotero.org/>

de responder às questões de pesquisa levantadas e identificar as lacunas na literatura. Os resultados da revisão sistemática da literatura serão apresentados na seção 3.3.

### 3.3

#### Relatório da Revisão

Nesta seção, são apresentados os resultados da revisão sistemática da literatura, incluindo a análise dos estudos selecionados para responder às questões de pesquisa levantadas e identificar as lacunas na literatura.

#### 3.3.1

##### Resultados da Busca

A busca nas bases de dados eletrônicas resultou em um total de 2350 trabalhos, os quais, passaram por uma triagem inicial através dos critérios de inclusão e exclusão estabelecidos a partir das questões de pesquisa. Após a aplicação dos critérios, 54 trabalhos foram selecionados para leitura na íntegra, entretanto, para a análise detalhada, somente 10 trabalhos foram selecionados após a leitura. A distribuição dos trabalhos selecionados por base de dados eletrônica é apresentada na Tabela 3.1 e nas Figuras 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4. A Tabela 3.2 apresenta os trabalhos que foram selecionados para análise após a leitura na íntegra.

A Tabela 3.1 apresenta a quantidade de trabalhos recuperados em cada base de dados eletrônica durante o primeiro passo da revisão sistemática, já a coluna “Selecionados para leitura (critérios e título/abstract)” apresenta a quantidade de trabalhos selecionados para leitura após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão e a leitura do título e/ou resumo, e a coluna “Analisados após lidos na íntegra” apresenta a quantidade de trabalhos foram escolhidos para análise após a leitura na íntegra.

Tabela 3.1: Distribuição dos Trabalhos Selecionados por Base de Dados Eletrônica

Base de Dados Eletrônica	Trabalhos Recuperados	Selecionados para leitura (critérios e título/abstract)	Analisados após lidos na íntegra
ACM Digital Library	640	12	<b>3</b>
IEEE Xplore	310	11	<b>2</b>
Scopus	838	27	<b>4</b>
Springer Link	562	4	<b>1</b>
<b>Total</b>	<b>2350</b>	<b>54</b>	<b>10</b>

Na Tabela 3.2 estão listados os trabalhos que foram selecionados para análise após a leitura na íntegra. A coluna “Trabalho Analisado” apresenta o título do trabalho, a coluna “Base” apresenta a base de dados eletrônica em que o trabalho foi recuperado, e a coluna “Ano” apresenta o ano de publicação do trabalho.

Tabela 3.2: Trabalhos Analisados

<b>Trabalho Analisado</b>	<b>Base</b>	<b>Ano</b>
A Virtual Reality Application to Make Mathematical Functions Accessible	ACM Digital Library	2023
An Automated Assessment System for Embodied Cognition in Children: From Motion Data to Executive Functioning	ACM Digital Library	2020
Automated System to Measure Static Balancing in Children to Assess Executive Function	ACM Digital Library	2022
ARCoD: A Serious Gaming Approach to Measure Cognitive Distortions	IEEE Xplore	2022
AssociAR: Gamified Process for the Teaching of Children with Autism Through the Association of Images and Words	IEEE Xplore	2020
A Novel Tangible Interaction Authoring Tool for Creating Educational Activities: Analysis of Its Acceptance by Educators	Scopus	2023
AI-based multidisciplinary framework to assess the impact of gamified video-based learning through schema and emotion analysis	Scopus	2022
Design and Evaluation of an Exergaming System for Children With Autism Spectrum Disorder: The Children’s and Families’ Perspectives	Scopus	2022
Design and Prototype Development of Augmented Reality in Reading Learning for Autism	Scopus	2023
A serious-gamification blueprint towards a normalized attention	Springer Link	2021

As figuras a seguir apresentam a quantidade de trabalhos revisados e analisados por base de dados eletrônica e por ano de publicação. Onde revisados são os trabalhos que passaram pela triagem inicial através dos critérios de inclusão e exclusão estabelecidos com base nas questões de pesquisa, e

analisados são os trabalhos que foram selecionados para leitura na íntegra e análise detalhada.

Através da Figura 3.1 é possível visualizar e comparar a quantidade de trabalhos revisados e analisados em cada base de dados eletrônica. Um fato inesperado foi que a base de dados eletrônica Scopus foi a que mais contribuiu com trabalhos para a revisão sistemática, onde era esperado que a ACM Digital Library fosse a que mais contribuísse, pois é uma base de dados eletrônica mais voltada para a área de ciências da computação. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que a Scopus é uma base de dados eletrônica que oferece mais trabalhos com acesso aberto que a ACM Digital Library, o que facilita a recuperação de trabalhos relevantes para a revisão sistemática.

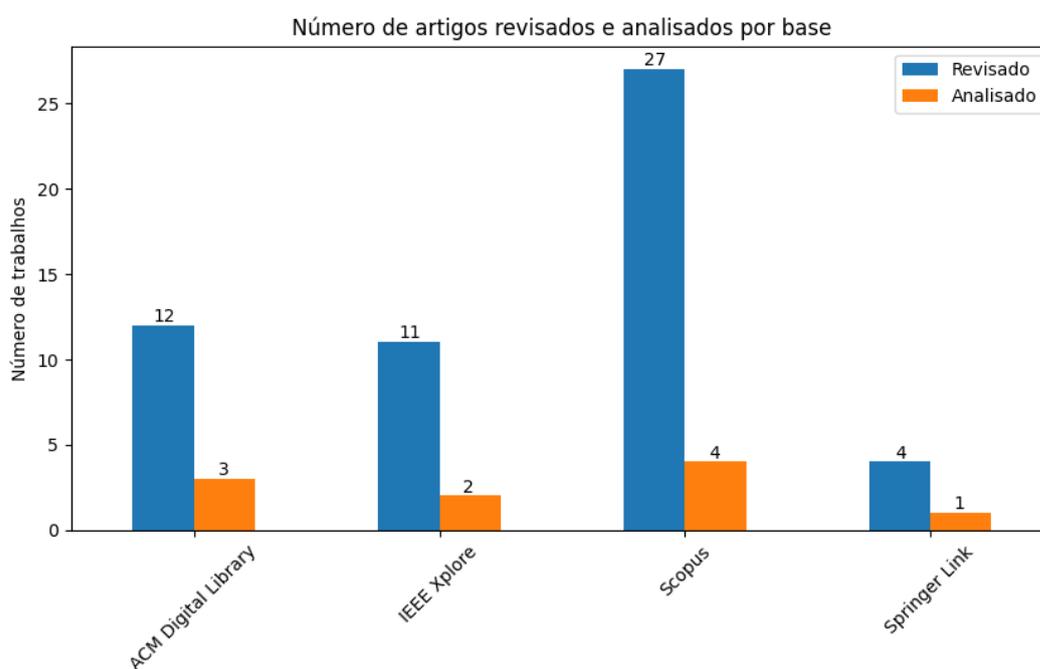


Figura 3.1: Quantidade de Trabalhos Revisados e Analizados por Base de Dados Eletrônica

Na Figura 3.2 são mostradas a quantidade de trabalhos revisados e analisados por ano de publicação. Ao observar a figura, é verificado que a quantidade de trabalhos revisados e analisados por ano de publicação não é bem distribuída, concentrando-se mais nos anos de 2022 e 2023. Como o objetivo da revisão sistemática é identificar o estado da arte em relação ao tema da revisão, é esperado que a quantidade de trabalhos revisados e analisados por ano de publicação seja bem distribuída.

A não distribuição dos trabalhos por ano de publicação pode ter algumas explicações. Uma provável conjectura é que muitos dos algoritmos de aprendizado de máquina somente começaram a ser aplicados em ferramentas a partir

de 2020, visto que a área de aprendizado de máquina com esse foco é relativamente nova, como por exemplo os algoritmos de estimação de poses humanas, que tiveram um grande avanço entre 2017 e 2019. Sendo assim, as ferramentas que utilizam esses algoritmos somente começaram a ser desenvolvidas e publicadas a partir de 2020. No entanto, a quantidade de trabalhos revisados e analisados por ano de publicação é suficiente para a realização da revisão sistemática, o que indica que a revisão sistemática foi realizada de forma abrangente e que os trabalhos selecionados para a análise detalhada são representativos do estado da arte em relação ao tema da revisão.

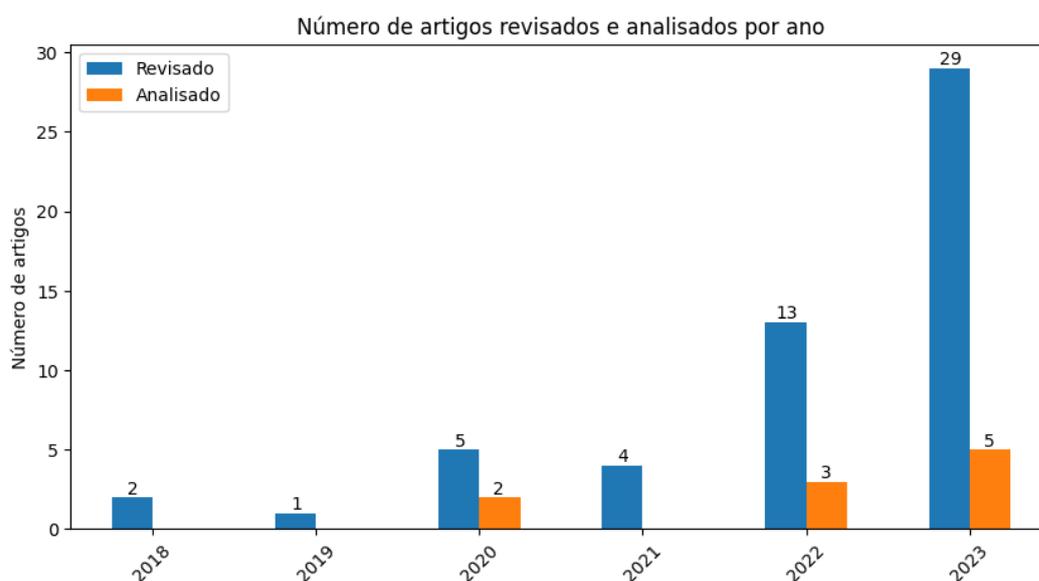


Figura 3.2: Quantidade de Trabalhos Revisados e Analisados por Ano de Publicação

A Figura 3.3 que apresenta a quantidade de trabalhos revisados por ano de publicação e base de dados eletrônica, e a Figura 3.4 que mostra a quantidade de trabalhos analisados por ano de publicação e base de dados eletrônica, fornecem um panorama geral da distribuição dos trabalhos revisados e analisados por ano de publicação e base de dados eletrônica. Através dessas figuras é possível visualizar e comparar a quantidade de trabalhos revisados e analisados em cada base de dados eletrônica e por ano de publicação.

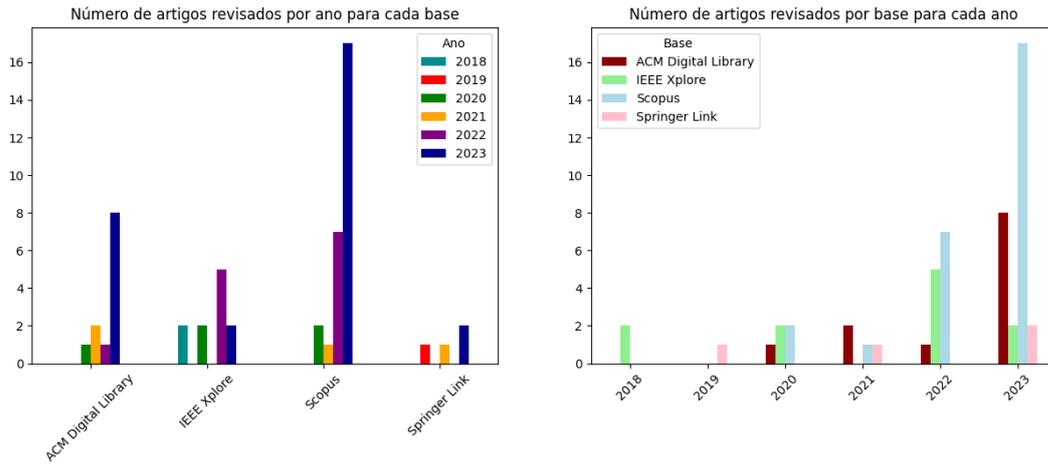


Figura 3.3: Quantidade de Trabalhos Revisados por Ano de Publicação e Base de Dados Eletrônica

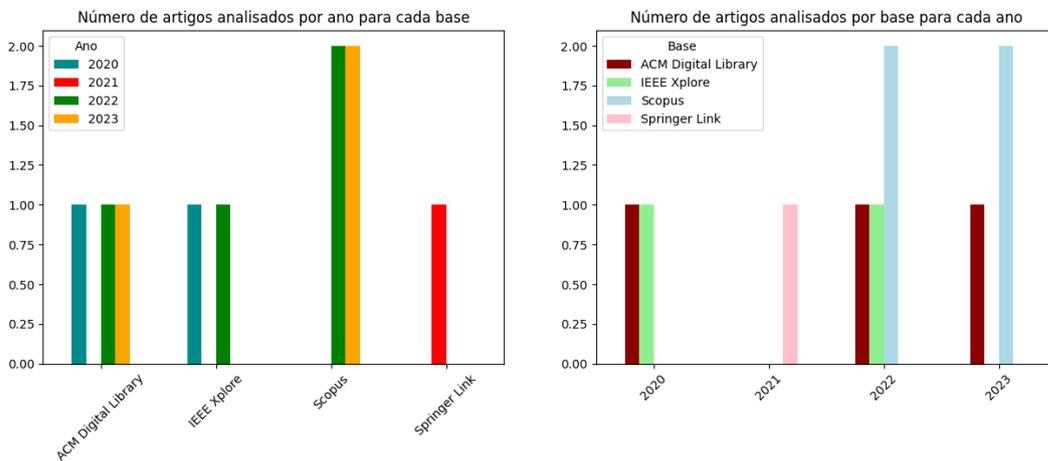


Figura 3.4: Quantidade de Trabalhos Analisados por Ano de Publicação e Base de Dados Eletrônica

### 3.3.2 Análise dos Estudos Selecionados

Após a leitura na íntegra e análise detalhada dos estudos selecionados, os resultados serão apresentados nesta seção, onde serão respondidas as questões de pesquisa levantadas da revisão sistemática da literatura.

#### 3.3.2.1 A Novel Tangible Interaction Authoring Tool for Creating Educational Activities (ARTOLA; SANZ; BALDASSARRI, 2023)

**Enquadramento nas Questões de Pesquisa da Revisão:** O artigo selecionado aborda principalmente a questão RSLQ3 da revisão sistemática da literatura.

tura. Embora o estudo não se concentre explicitamente em TEA ou TDAH, ele apresenta uma ferramenta que pode ser relevante para a personalização e adaptação de atividades educacionais inclusivas, utilizando tecnologia de interação tangível.

**Objetivos e Metodologia:** O estudo introduz a ferramenta EDIT, desenvolvida para permitir que educadores criem atividades educacionais baseadas em interação tangível. A aceitação desta ferramenta pelos educadores foi significativamente alta, sugerindo que eles veem grande valor na incorporação de interação tangível nas atividades de sala de aula, especialmente considerando o potencial para engajar crianças de maneira mais efetiva.

**Principais Resultados:** O EDIT se destaca por permitir a criação de atividades educacionais que oferecem feedback personalizado, meta-anotação e sequenciamento de projetos, facilitando uma experiência educacional mais rica e adaptativa para os alunos.

**Limitações e Contribuições:** Apesar da alta aceitação, foram identificadas limitações relacionadas à criação de certos tipos de atividades, além da necessidade de infraestrutura específica, como mesas multitoque. Isso implica que, embora o EDIT tenha potencial para melhorar significativamente a educação inclusiva, sua aplicabilidade pode ser restrita pela disponibilidade de recursos tecnológicos nas escolas.

**Implicações Práticas e Observações:** O artigo contribui para a literatura ao apresentar uma nova ferramenta que apoia educadores na criação de atividades de interação tangível, uma área pouco explorada nas pesquisas sobre educação inclusiva. No entanto, a falta de foco específico em TEA ou TDAH e a ausência de detalhes sobre requisitos de hardware para a implementação do EDIT são lacunas que precisam ser abordadas em trabalhos futuros.

**Conclusão:** Este estudo oferece insights valiosos sobre o uso de ferramentas autorais para promover a inclusão educacional através da tecnologia de interação tangível. Enquadrando-se na RSLQ3, destaca a importância de explorar e entender as ferramentas disponíveis que podem auxiliar os professores na implementação de práticas educacionais inovadoras e inclusivas. Ainda assim, é crucial que pesquisas futuras expandam o escopo para incluir explicitamente as necessidades de estudantes com TEA e TDAH, além de abordar as questões

práticas relacionadas à implementação tecnológica em ambientes educacionais diversos.

### 3.3.2.2

#### **AI-based multidisciplinary framework to assess the impact of gamified video-based learning through schema and emotion analysis (VIDANARALAGE; DHARMARATNE; HAQUE, 2022)**

**Enquadramento nas Questões de Pesquisa da Revisão:** O artigo selecionado aborda principalmente a questão RSLQ1 da revisão sistemática da literatura. Embora o estudo não se concentre explicitamente em TEA ou TDAH, ele apresenta uma estrutura baseada em IA para avaliar o impacto do aprendizado baseado em vídeo gamificado na memória e nas emoções dos alunos, oferecendo insights relevantes para a adaptação de atividades ludificadas para diferentes contextos educacionais.

**Objetivos e Metodologia:** O artigo propõe uma estrutura multidisciplinar baseada em IA para avaliar o impacto da aprendizagem baseada em vídeo gamificado na memória e nas emoções dos alunos adultos, onde estas emoções são classificadas por uma rede neural ResNet-34. A pesquisa integra conceitos de psicologia cognitiva, ciência afetiva, tecnologia educacional e inteligência artificial.

**Principais Resultados:** Embora os principais resultados não tenham sido especificados, o estudo destaca que o grupo congruente com o esquema teve maior precisão de recuperação da memória do que o grupo incongruente. Além disso, observou-se que o tempo de resposta de recall atrasado foi mais rápido do que o recall imediato, e o aprendizado gamificado evocou mais emoções positivas em comparação com o não gamificado.

**Limitações e Contribuições:** O estudo reconhece algumas limitações, como a classificação de emoções apenas com uma rede neural específica e a incapacidade de distinguir conteúdo de vídeo falso gerado por bots automatizados. No entanto, oferece uma estrutura baseada em IA que pode ser útil para avaliar o impacto do aprendizado de vídeo gamificado, fornecendo insights valiosos para as partes interessadas no ecossistema de aprendizagem baseado em vídeo.

**Implicações Práticas e Observações:** Embora o estudo não aborde diretamente a educação inclusiva ou o uso em ambientes específicos, como estudantes com TEA ou TDAH, ele recomenda uma estrutura baseada em IA para avaliar o esquema e as emoções dos alunos adultos. Essa estrutura pode ser adaptada e explorada em diferentes contextos educacionais, incluindo a educação inclusiva, para entender melhor o impacto do aprendizado de vídeo gamificado na memória e no engajamento dos alunos.

**Conclusão:** Este estudo oferece uma visão multidisciplinar e tecnológica sobre o impacto do aprendizado de vídeo gamificado na memória e nas emoções dos alunos. Embora não se concentre explicitamente em TEA ou TDAH, ele fornece uma estrutura valiosa que pode ser adaptada para diferentes contextos educacionais, incluindo a educação inclusiva. Destaca-se a importância de explorar ainda mais como a tecnologia pode ser utilizada para personalizar e adaptar as atividades educacionais para atender às necessidades específicas dos alunos, inclusive aqueles com necessidades especiais.

### 3.3.2.3

#### **Design and Evaluation of an Exergaming System for Children With Autism Spectrum Disorder: The Children's and Families' Perspectives (GRAHAM et al., 2022)**

**Enquadramento nas Questões de Pesquisa da Revisão:** Este artigo se enquadra principalmente na RSLQ2 da revisão sistemática da literatura. Apesar de não abordar diretamente o uso de realidade estendida, o estudo apresenta um sistema de exergaming projetado para crianças com Transtorno do Espectro Autista, uma forma de atividade lúdica que pode ser explorada para promover o engajamento e a aprendizagem em contextos educacionais inclusivos.

**Objetivos e Metodologia:** O artigo apresenta o sistema Exergaming Liberi, projetado para crianças com TEA, com o objetivo de mitigar déficits nas funções executivas. O estudo envolveu uma reunião pré-programa, seis semanas de uso do exergame e um grupo focal pós-programa, onde foram exploradas as experiências e perspectivas das crianças e famílias com o programa de exergaming.

**Principais Resultados:** Os exergames Liberi foram bem recebidos pelas crianças e suas famílias, com impacto positivo observado nas atitudes em

relação à atividade física e ao condicionamento físico. O estudo destaca tanto os aspectos bem-sucedidos quanto os malsucedidos do design do jogo e discute como os pais imaginam a melhor implantação desses exergames para crianças com TEA.

**Limitações e Contribuições:** Entre as limitações, destaca-se a falta de pesquisa sobre exergames para crianças com distúrbios do neurodesenvolvimento e a ausência de análise qualitativa das experiências dos jogadores e famílias. No entanto, o estudo contribui significativamente ao projetar e avaliar um sistema de exergaming específico para crianças com TEA e ao explorar a perspectiva das famílias sobre o uso desses exergames.

**Implicações Práticas e Observações:** O artigo fornece informações valiosas sobre como crianças e pais percebem os exergames Liberi, destacando a importância de considerar suas perspectivas ao incorporar esses jogos na vida das crianças com TEA. Além disso, discute como os exergames podem ser melhor projetados e implantados para atender às necessidades específicas dessas crianças.

**Conclusão:** Este estudo oferece insights importantes sobre o design e impacto de um sistema de exergaming para crianças com TEA, destacando sua aceitação positiva pelas crianças e famílias. Embora o estudo não explore diretamente o ambiente escolar ou o uso em atividades educacionais inclusivas, oferece uma base sólida para futuras pesquisas sobre como exergames e outras formas de atividade ludificada podem ser integrados em ambientes educacionais para promover o engajamento e aprendizagem de crianças com necessidades especiais. Portanto, alinhando-se com a RSLQ2, o estudo enfatiza a importância de explorar e entender como tecnologias como exergames podem ser utilizadas para beneficiar crianças com TEA em contextos educacionais inclusivos.

#### 3.3.2.4

#### **Design and Prototype Development of Augmented Reality in Reading Learning for Autism (KHOIRUNNISA; MUNIR; DEWI, 2023)**

**Enquadramento nas Questões de Pesquisa da Revisão:** Este estudo se encaixa nas questões RSLQ2 e RSLQ3 da revisão sistemática da literatura. O artigo apresenta o desenvolvimento de um protótipo de realidade aumentada para o ensino de leitura em crianças com autismo, contribuindo indiretamente

para a compreensão de como tecnologias adaptativas podem ser utilizadas para melhorar a aprendizagem de alunos com necessidades específicas.

**Objetivos e Metodologia:** O estudo descreve o desenvolvimento de um protótipo de aplicativo de realidade aumentada projetado para auxiliar no ensino de leitura para crianças com autismo. A metodologia envolveu a utilização de tecnologias como Unity3D, Vuforia e Adobe Illustrator para criar um aplicativo interativo que combina elementos visuais e auditivos para facilitar o processo de aprendizado.

**Principais Resultados:** O protótipo de AR desenvolvido mostrou-se promissor no ensino de leitura para crianças com autismo, oferecendo uma abordagem inovadora e envolvente que combina elementos visuais e auditivos. Os resultados preliminares foram positivos, indicando que a tecnologia de realidade aumentada pode ser uma ferramenta útil para melhorar as habilidades de leitura de crianças com autismo.

**Limitações e Contribuições:** Não foram mencionadas limitações específicas nos contextos fornecidos. As contribuições do estudo incluem o desenvolvimento de um protótipo de AR adaptado para o ensino de leitura em crianças com autismo, utilizando uma abordagem multimodal que combina elementos visuais e auditivos para facilitar o aprendizado.

**Implicações Práticas e Observações:** O desenvolvimento do protótipo de AR apresenta implicações práticas importantes, oferecendo uma nova ferramenta para auxiliar no ensino de leitura para crianças com autismo. Ao combinar elementos visuais e auditivos de forma interativa e envolvente, o aplicativo pode promover um aprendizado mais eficaz e significativo para essa população.

**Conclusão:** Este estudo destaca a relevância da tecnologia de realidade aumentada no ensino de crianças com autismo, oferecendo uma abordagem inovadora e multimodal para facilitar o processo de aprendizado. Alinhando-se com as questões RSLQ2 e RSLQ3, o protótipo de AR desenvolvido neste estudo apresenta uma ferramenta promissora para personalizar e adaptar atividades educacionais para atender às necessidades específicas de alunos com TEA, contribuindo assim para uma educação mais inclusiva e eficaz para essa população.

### 3.3.2.5

#### **A serious-gamification blueprint towards a normalized attention (ALQITHAMI, 2021)**

**Enquadramento nas Questões de Pesquisa da Revisão:** Este artigo está diretamente relacionado à RSLQ2 da revisão sistemática da literatura. O estudo apresenta um plano de gamificação séria para o tratamento do déficit de atenção, buscando melhorar a atenção e comportamento de pacientes com TDAH por meio de um ambiente de realidade aumentada baseado em jogos.

**Objetivos e Metodologia:** O artigo introduz um modelo de referência genérico para o desenvolvimento de um método de tratamento usando um ambiente de realidade aumentada baseado em jogos para melhorar o comportamento de pacientes com TDAH. O modelo proposto visa apoiar a terapia cognitivo-comportamental tradicional com uma abordagem virtual mais avançada para acelerar o tempo de recuperação e fornecer uma solução mais eficiente em termos de custo para os pacientes.

**Principais Resultados:** O artigo apresenta um modelo cognitivo teórico para melhorar os comportamentos de pacientes com TDAH usando um ambiente de realidade aumentada baseado em jogos. O modelo proposto visa alcançar um excelente nível de acessibilidade para todos os pacientes por meio do uso de agentes virtuais inteligentes e técnicas de realidade imersiva.

**Limitações e Contribuições:** O estudo não menciona limitações específicas, mas destaca a contribuição do modelo de referência genérico para o tratamento do TDAH usando jogos sérios. Além disso, analisa a evolução do design de jogos sérios para o tratamento do TDAH e define "Game-Session" como um conjunto de sessões de tratamento.

**Implicações Práticas e Observações:** O artigo oferece implicações práticas significativas ao apresentar um modelo para o tratamento de déficits de atenção baseado em jogos. Além disso, guia no desenvolvimento de métodos de tratamento para pacientes com TDAH, fornecendo uma abordagem inovadora e tecnologicamente avançada para melhorar a atenção e o comportamento desses pacientes.

**Conclusão:** Este estudo destaca a importância da gamificação séria no tratamento do déficit de atenção em pacientes com TDAH, alinhando-se com a

RSLQ2 da revisão sistemática da literatura. O modelo apresentado oferece uma abordagem inovadora e avançada, utilizando um ambiente de realidade aumentada baseado em jogos para melhorar a atenção e o comportamento dessas pacientes. Embora o estudo não esteja no contexto da educação inclusiva, ele oferece uma base sólida para futuras pesquisas sobre como a gamificação séria pode ser utilizada para beneficiar crianças com necessidades especiais em contextos educacionais inclusivos. Portanto, o artigo contribui significativamente para o campo da educação inclusiva, fornecendo uma ferramenta potencialmente útil para personalizar e adaptar o tratamento para atender às necessidades específicas de pacientes com TDAH.

### 3.3.2.6

#### **A Virtual Reality Application to Make Mathematical Functions Accessible (GAGGI; GROSSET; PANTE, 2023)**

**Enquadramento nas Questões de Pesquisa da Revisão:** Este artigo está relacionado à RSLQ2 da revisão sistemática da literatura. O estudo apresenta um aplicativo de realidade virtual (VR) projetado para tornar as funções matemáticas acessíveis, com ênfase na inclusão de estudantes com deficiência visual e TDAH.

**Objetivos e Metodologia:** O artigo concentra-se na criação de um aplicativo de realidade virtual para representar funções matemáticas por meio de sons, com o objetivo de melhorar a imersão e inclusão na educação matemática. O aplicativo utiliza interfaces de áudio e hápticas para aprimorar a experiência de aprendizado, especialmente para estudantes com deficiência visual e TDAH.

**Principais Resultados:** O estudo apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta semelhante a um jogo para representar funções matemáticas por meio de sons. Testes de usabilidade e aceitação foram conduzidos entre usuários especializados e alunos do ensino médio, resultando em uma média de 2,57 respostas corretas em 5 perguntas, com um desvio padrão de 1,23, indicando a eficácia da ferramenta em reconhecer funções matemáticas usando som espacializado.

**Limitações e Contribuições:** As limitações incluem a falta de princípios de design universal para vários tipos de dados de codificação de gráficos e a necessidade de mais pesquisas para justificar os benefícios para usuários com TDAH. As contribuições do estudo incluem a criação de um aplicativo de

VR para representação acessível de funções matemáticas e o uso de áudio e abordagem multissensorial para auxiliar na aprendizagem.

**Implicações Práticas e Observações:** O aplicativo VR apresenta implicações práticas significativas, melhorando a acessibilidade das funções matemáticas para estudantes com deficiência visual e também ajudando a melhorar o foco, a atenção e as habilidades cognitivas, especialmente para estudantes com TDAH.

**Conclusão:** Este estudo destaca a importância do uso de tecnologias como a realidade virtual para tornar as funções matemáticas acessíveis e inclusivas para estudantes com deficiência visual e TDAH. Alinhando-se com a RSLQ2, o aplicativo de VR oferece uma ferramenta potencialmente valiosa para auxiliar os professores na implementação de atividades educacionais ludificadas para estudantes com necessidades específicas, promovendo assim uma abordagem mais inclusiva e adaptativa na educação matemática.

### 3.3.2.7

#### **An Automated Assessment System for Embodied Cognition in Children: From Motion Data to Executive Functioning (DILLHOFF et al., 2020)**

**Enquadramento nas Questões de Pesquisa da Revisão:** Este artigo se alinha à RSLQ1 da revisão sistemática da literatura. O estudo apresenta um sistema automatizado de avaliação da cognição incorporada, utilizando dados de movimento capturados por câmeras Kinect. Apesar de não se concentrar explicitamente em ambientes educacionais inclusivos, o estudo oferece subsídios que podem contribuir para a personalização e adaptação das atividades educacionais para crianças com necessidades específicas, incluindo TEA e TDAH.

**Objetivos e Metodologia:** O artigo foca na criação de um sistema automatizado de avaliação para o Activate Test for Embodied Cognition (ATEC) em crianças, utilizando dados de movimento capturados por câmeras Kinect. O sistema visa avaliar habilidades cognitivas como atenção, memória de trabalho, inibição de resposta, ritmo e coordenação, através de tarefas físicas como Sailor Step e Ball-Drop-to-the-Beat.

**Principais Resultados:** O estudo destaca a importância dos comportamentos fisicamente ativos para o desenvolvimento infantil e sugere que um sistema de avaliação automatizado pode proporcionar mais oportunidades para diag-

nóstico, tratamento e monitoramento do progresso das habilidades cognitivas. O objetivo final é projetar um sistema de avaliação automatizado de alta fidelidade e baixo custo para analisar movimentos e produzir medidas cognitivas confiáveis.

**Limitações e Contribuições:** Não foram mencionadas limitações específicas nos contextos fornecidos. Contudo, é possível afirmar que o uso do Kinect pode ser uma limitação, pois é um dispositivo que pode não estar disponível em todas as escolas. As contribuições do estudo incluem o desenvolvimento de um sistema automatizado de pontuação para tarefas ATEC usando aprendizado de máquina, bem como a utilização da câmera Kinect para coleta de dados de movimento e avaliação da cognição incorporada em crianças.

**Implicações Práticas e Observações:** O sistema automatizado de avaliação apresenta implicações práticas importantes, oferecendo uma maneira eficiente e precisa de avaliar a cognição incorporada em crianças, o que pode ser especialmente útil para personalizar e adaptar as atividades educacionais para atender às necessidades específicas de estudantes com TEA e TDAH.

**Conclusão:** Este estudo destaca a relevância de um sistema automatizado de avaliação da cognição incorporada em crianças, que pode desempenhar um papel crucial na personalização e adaptação das atividades educacionais para atender às necessidades específicas de crianças com TEA e TDAH. Embora o estudo não se concentre explicitamente em ambientes educacionais inclusivos, oferece uma base sólida para futuras pesquisas sobre como a tecnologia pode ser utilizada para beneficiar crianças com necessidades especiais em contextos educacionais inclusivos. Alinhando-se com a RSLQ1, o sistema proposto oferece uma ferramenta potencialmente valiosa para auxiliar os educadores na criação de atividades lúdicas que venham a promover a cognição incorporada em crianças com necessidades específicas.

### 3.3.2.8

#### **Automated System to Measure Static Balancing in Children to Assess Executive Function (PAVEL et al., 2022)**

**Enquadramento nas Questões de Pesquisa da Revisão:** Este estudo se encaixa na RSLQ1 da revisão sistemática da literatura. Embora não diretamente relacionado à ludificação, este trabalho apresenta um sistema automatizado para medir o equilíbrio estático em crianças, que pode contribuir indire-

tamente para a compreensão das habilidades cognitivas e funções executivas, essenciais para alunos com TEA e TDAH.

**Objetivos e Metodologia:** O artigo apresenta um sistema automatizado baseado em visão computacional e aprendizado profundo para medir o equilíbrio estático em crianças como parte do Activate Test for Embodied Cognition (ATEC). Utilizando o modelo MoveNet para inferir os keypoints do corpo em coordenadas 2D, o sistema calcula a pontuação bruta da tarefa ATEC, atingindo uma precisão de 97%. Além disso, propõe uma pontuação ergonômica baseada na postura corporal das crianças.

**Principais Resultados:** O sistema automatizado alcançou uma precisão notável na avaliação do equilíbrio estático em crianças, o que pode fornecer insights valiosos sobre suas habilidades cognitivas, incluindo atenção, memória, inibição de resposta, ritmo e coordenação. O sistema proposto é portátil, econômico e pode ser facilmente implantado em ambientes domésticos ou escolares.

**Limitações e Contribuições:** Não são mencionadas limitações específicas nos contextos fornecidos. O estudo contribui para a pesquisa ao apresentar uma nova tarefa ATEC com um sistema de pontuação automatizado, fornecendo uma maneira eficaz e conveniente de medir o equilíbrio estático em crianças e avaliar suas habilidades cognitivas associadas.

**Implicações Práticas e Observações:** As implicações práticas são significativas, já que o sistema pode ser utilizado para auxiliar na identificação precoce de dificuldades cognitivas e no monitoramento do progresso ao longo do tempo.

**Conclusão:** Este estudo apresenta uma contribuição importante para a avaliação das habilidades cognitivas em crianças, particularmente no que diz respeito ao equilíbrio estático. Embora não seja diretamente relacionado à ludificação, o sistema automatizado proposto pode fornecer uma ferramenta valiosa para educadores e profissionais de saúde na identificação e acompanhamento de crianças com TEA e TDAH. Além disso, alinha-se com a RSLQ1, buscando desenvolver tecnologias que possam ser adaptadas para atender às necessidades específicas desses alunos.

### 3.3.2.9

#### **ARCoD: A Serious Gaming Approach to Measure Cognitive Distortions (TASNIM; EISHITA, 2022)**

**Enquadramento nas Questões de Pesquisa da Revisão:** Este artigo se relaciona às questões RSLQ1 e RSLQ2 da revisão sistemática da literatura, apesar de não estar diretamente relacionado à educação inclusiva e nem mencionar explicitamente TEA ou TDAH. O estudo apresenta o ARCoD, um jogo sério projetado para medir distorções cognitivas em indivíduos através do jogo, mostrando o potencial dos jogos sérios como ferramentas de avaliação para saúde mental.

**Objetivos e Metodologia:** O artigo descreve o desenvolvimento e teste de um jogo sério chamado ARCoD, projetado para medir distorções cognitivas em indivíduos através do gameplay. O ARCoD mede cinco distorções cognitivas, semelhantes à Cognitive Distortion Scale, utilizando questionários incorporados ao jogo. Para a avaliação e exibição do desempenho dos jogadores utiliza inteligência artificial através da lógica fuzzy, ou seja, não utiliza aprendizado de máquina.

**Principais Resultados:** O estudo conclui que o ARCoD mede efetivamente as distorções cognitivas, comparável à Cognitive Distortion Scale. Além disso, destaca que jogos sérios, como o ARCoD, podem ser uma solução viável para fornecer cuidados de saúde mental a uma parcela significativa da população.

**Limitações e Contribuições:** Não foram mencionadas limitações específicas no contexto fornecido. As contribuições do estudo incluem a eficácia do ARCoD em medir distorções cognitivas, bem como o potencial dos jogos sérios como ferramentas para saúde mental.

**Implicações Práticas e Observações:** O ARCoD oferece uma maneira eficaz de avaliar distorções cognitivas em indivíduos através de um jogo sério, demonstrando o potencial das tecnologias como a Realidade Aumentada para melhorar intervenções de saúde mental.

**Conclusão:** O estudo destaca a eficácia do ARCoD, um jogo sério, em medir distorções cognitivas em indivíduos, mostrando sua viabilidade como uma ferramenta de avaliação para saúde mental. Embora não esteja diretamente relacionado à educação inclusiva, o ARCoD oferece uma base sólida para futu-

ras pesquisas sobre como os jogos sérios podem ser utilizados para beneficiar crianças com necessidades especiais em contextos educacionais inclusivos.

Alinhando-se com a RSLQ1 e RSLQ2, o ARCoD exemplifica como os jogos sérios podem ser utilizados como ferramentas de medição para distúrbios cognitivos, oferecendo uma abordagem inovadora e potencialmente acessível para avaliar e tratar problemas de saúde mental.

### 3.3.2.10

#### **AssociAR: Gamified Process for the Teaching of Children with Autism Through the Association of Images and Words (MOTA et al., 2020)**

**Enquadramento nas Questões de Pesquisa da Revisão:** Este estudo se alinha com a RSLQ2 da revisão sistemática da literatura. O artigo apresenta um processo gamificado por meio da realidade aumentada para o ensino de crianças com autismo, utilizando a associação de imagens e palavras, contribuindo para entender como tecnologias gamificadas podem ser adaptadas para atender às necessidades de alunos com TEA.

**Objetivos e Metodologia:** O estudo visa desenvolver uma abordagem educacional inovadora para auxiliar crianças com TEA por meio da gamificação e da tecnologia de realidade aumentada. O objetivo principal é melhorar o processo de aprendizagem dessas crianças, aproveitando os benefícios da interação multimodal entre imagens e palavras, enquanto torna a experiência educacional mais atraente e engajadora.

**Principais Resultados:** O estudo destaca o enorme potencial educacional da combinação de realidade aumentada e gamificação. Essa abordagem pode tornar o processo de aprendizagem mais eficiente e agradável para crianças com TEA. Os resultados mostram que o projeto gamificado teve um impacto positivo nas crianças com TEA, evidenciando que metas de curto prazo, recompensas personalizadas e a utilização de uma escala Likert foram estratégias eficazes para engajar os alunos e promover a aprendizagem.

**Limitações e Contribuições:** Apesar dos resultados positivos, o estudo reconhece que a eficácia da gamificação pode variar em diferentes contextos de TEA, e os interesses específicos das crianças podem influenciar os resultados. As contribuições do estudo incluem o desenvolvimento de um processo gamificado para o ensino de crianças com autismo, utilizando a associação de imagens e palavras como estratégia educacional.

**Implicações Práticas e Observações:** As implicações práticas incluem o potencial de implementação de projetos de realidade aumentada gamificados em ambientes educacionais, proporcionando uma experiência de aprendizagem mais envolvente e significativa para crianças com TEA. Ao utilizar a tecnologia de forma lúdica e adaptada às necessidades específicas dos alunos, o aplicativo pode contribuir para um aprendizado mais eficaz e significativo.

**Conclusão:** Este estudo destaca a relevância de abordagens gamificadas no ensino de crianças com autismo, como uma forma de tornar o processo de aprendizado mais estimulante e inclusivo. Alinhando-se com a RSLQ2, o aplicativo AssociAR oferece uma ferramenta promissora para personalizar e adaptar atividades educacionais para atender às necessidades específicas de alunos com TEA, promovendo assim uma educação mais acessível e eficaz para essa população.

### 3.3.3

#### Identificação de Lacunas na Literatura

Com base nas informações fornecidas sobre os artigos analisados, algumas lacunas podem ser identificadas na pesquisa relacionada ao uso de tecnologia para o ensino de crianças com TEA e TDAH. As lacunas identificadas incluem, mas não estão limitadas a, as seguintes:

1. **Integração de Tecnologias para Necessidades Específicas:** Embora cada artigo explore uma abordagem tecnológica diferente para auxiliar no ensino e avaliação de crianças com necessidades específicas, há uma lacuna na pesquisa que investiga a integração dessas tecnologias. Seria interessante explorar como diferentes tecnologias, como realidade aumentada e algoritmos de aprendizado de máquina podem ser combinadas de forma sinérgica para atender às necessidades específicas dos alunos com TEA e TDAH.
2. **Personalização e Adaptação de Atividades:** Os artigos analisados mencionam a importância de personalizar e adaptar atividades educacionais para crianças com autismo ou déficit de atenção e hiperatividade, mas não fornecem uma análise detalhada de como isso pode ser feito de forma eficaz. Uma lacuna na pesquisa é a falta de investigação sobre estratégias específicas de personalização e adaptação que podem ser implementadas por meio dessas tecnologias para atender às necessidades individuais dos alunos com TEA e TDAH.

3. **Inclusão de Professores:** Os artigos discutem principalmente o impacto das tecnologias no aprendizado das crianças com TEA e TDAH, mas há uma oportunidade na pesquisa relacionada à inclusão de professores no processo. Seria valioso explorar como esses professores podem ser envolvidos no desenvolvimento e implementação dessas tecnologias para garantir uma abordagem mais abrangente e colaborativa no apoio às crianças com TEA e TDAH.

Em síntese, embora os estudos analisados tenham apresentado avanços significativos no uso de tecnologia para apoiar crianças com necessidades específicas, ainda existem lacunas na pesquisa que precisam ser abordadas para promover uma educação mais inclusiva e eficaz para essa população.

## 4

# Metodologia

### 4.1

#### Artefatos na Pesquisa Científica

A criação de um artefato é uma atividade comum na vida humana. Entretanto, ao realizar pesquisas científicas que envolvem o desenvolvimento de artefatos, é necessário adotar abordagens e métodos adequados para investigar seu uso e impacto. A metodologia adotada para o desenvolvimento e investigação do uso de artefatos que provocam intervenções em determinado ambiente é crucial para garantir a validade científica do estudo.

É importante ressaltar que a resposta para o questionamento sobre o método de pesquisa a ser utilizado não é óbvia, uma vez que as criações humanas nem sempre são reconhecidas como objetos válidos para pesquisa científica. Desenvolver e investigar cientificamente o uso de artefatos demanda uma abordagem específica, diferenciada da investigação de fenômenos naturais e sociais.

Observando que “o mundo em que vivemos hoje é mais feito pelo homem, ou artificial, do que um mundo natural” (SIMON, 2019), Hebert Simon, em sua obra “The Sciences of the Artificial”, originalmente publicada em 1969, propôs as Ciências do Artificial como um campo equiparado às Ciências Naturais e Ciências Sociais. Esse conjunto de disciplinas é dedicado à compreensão do artificial e do processo de projetar artefatos. Áreas como Engenharia, Computação e Educação, em certa medida, compõem as Ciências do Artificial, caracterizando-se como Ciência do Projeto, também conhecida contemporaneamente como Ciência do Design (Design Science - DS)(PIMENTEL; FILIPPO; SANTOS, 2020).

O objetivo central das ciências do artificial é produzir conhecimento relacionado ao próprio processo de projetar artefatos. Enquanto “as ciências naturais ocupam-se de como as coisas são [...], ao projeto interessa o que as coisas devem ser, a concepção de artefatos que realizem objetivos” (SIMON, 2019)(PIMENTEL; FILIPPO; SANTOS, 2020). Como ciência, a Design Science está relacionada à criação sistemática de conhecimento sobre e com o artefato (BASKERVILLE, 2008).

A palavra “artefato”, derivada do latim “arte + factus”, denota algo feito com habilidade e técnica. Pode ser conceituado como um artifício, uma construção artificialmente criada de forma intencional, possuindo uma utilidade

específica(PIMENTEL; FILIPPO; SANTOS, 2020). É o resultado de um projeto, um produto “adaptado aos objetivos e propósitos do homem” (SIMON, 2019)(PIMENTEL; FILIPPO; SANTOS, 2020). Um artefato é concebido para cumprir uma finalidade, como o giz, o quadro-negro, a mochila ou o prédio da escola. Além disso, os artefatos não se limitam apenas a objetos físicos, podendo também ser artifícios intelectuais intangíveis, como uma atividade educacional(PIMENTEL; FILIPPO; SANTOS, 2020).

As Ciências do Artificial, também conhecidas como Ciências do Projeto ou do Design, têm como propósito fundamental a geração de conhecimento voltado para a concepção do mundo desejado. Dentro desse campo, busca-se desenvolver um entendimento que possibilite a criação de artefatos capazes de satisfazer objetivos específicos dentro de contextos determinados. Essa busca pela satisfação é crucial, uma vez que raramente existe uma solução ótima claramente definida, dada a diversidade de alternativas considerando as tecnologias disponíveis, o contexto espaço-temporal, os usuários envolvidos e os aspectos culturais, entre outros fatores(PIMENTEL; FILIPPO; SANTOS, 2020).

## 4.2

### Design Science Research

A DSR tem suas bases epistemológicas na Design Science, a qual enfatiza a conexão entre conhecimento e prática para gerar saber científico por meio do design de soluções práticas (WIERINGA, 2014). É crucial salientar, no entanto, que o método DSR não é o único que preconiza a realização de pesquisas com rigor e relevância. A Pesquisa-ação, por exemplo, é um método de pesquisa que busca simultaneamente desenvolver conhecimento científico e resolver problemas reais (COLLATTO et al., 2018).

Alguns estudos podem considerar a Pesquisa-ação e a DSR como semelhantes (JÄRVINEN, 2007), enquanto outros as distinguem (IIVARI; VENABLE, 2009)(DRESCH et al., 2015)(COLLATTO et al., 2018), destacando diferenças em termos de objetivos, papel do pesquisador na condução da pesquisa, generalização dos resultados, colaboração entre pesquisador e participantes e fundamentação empírica.

A escolha entre um ou outro método depende do tipo de estudo a ser conduzido. Estudos que envolvem o desenvolvimento, utilização e avaliação de artefatos em contextos organizacionais, seja de forma colaborativa ou não, encontram um suporte metodológico adequado na DSR (COLLATTO et al., 2018). Conforme ressaltado por (DRESCH et al., 2015), “a Design Science tem como objetivo principal gerar conhecimento sobre como projetar, e não

simplesmente aplicá-lo. Em outras palavras, a Design Science é a ciência do projeto”(DRESCH et al., 2015).

Segundo (WEIGAND; JOHANNESSON; ANDERSSON, 2021), o artefato concebido por meio da DSR é caracterizado por ter especificações de design bem definidas, com instâncias que são utilizadas, direta ou indiretamente, para propósitos práticos e de pesquisa, visando à construção de conhecimento sobre o domínio em questão. Conforme (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023), este tipo de artefato é considerado “universal”, pois deve ser aplicável a diversos contextos de uso, embora nem todo artefato universal seja necessariamente um artefato DSR. Para ser classificado como tal, deve possuir tanto rigor científico quanto relevância prática, ou seja, demonstrar um efeito mensurável em sua utilização e estar associado a um domínio científico específico(SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023).

A capacidade de generalização permite que a solução proposta não seja apenas uma resposta isolada a um problema específico, mas também que possa enriquecer o conhecimento em uma determinada área e ser aplicada em contextos similares por outros pesquisadores ou organizações(DRESCH et al., 2015).

Assim, de acordo com (DRESCH et al., 2015), a DSR “é o método que fundamenta e operacionaliza a condução da pesquisa quando o objetivo a ser alcançado é um artefato ou uma prescrição”. Orientada para a resolução de problemas, busca compreender esses problemas e criar artefatos que possam oferecer soluções, reduzindo a lacuna entre teoria e prática. É importante ressaltar que o método busca propor não necessariamente uma solução ideal ou ótima, mas sim uma solução satisfatória para a situação(SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023).

Como informado por (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023), (COLLATTO et al., 2018) resumem as principais características da DSR:

- **Paradigma epistemológico:** Design Science;
- **Objetivo:** desenvolver artefatos que ofereçam soluções satisfatórias para problemas práticos, contribuindo ainda com o desenvolvimento de teorias. Envolve projetar e prescrever;
- **Principais atividades:** identificação de problemas, conscientização do problema, revisão sistemática da literatura, identificação de artefatos e classes existentes de problemas, design do artefato, desenvolvimento do artefato, avaliação do artefato, explicitação da aprendizagem, generalização do artefato para determinada classe de problemas, conclusão e relato dos resultados;

- **Principais resultados da pesquisa:** desenvolvimento dos artefatos;
- **Conhecimento gerado:** como as coisas devem ser;
- **Avaliação dos resultados:** aplicações, simulações, experimentos usando o artefato;
- **Coleta/análise dos dados:** pode ser qualitativa e/ou quantitativa;
- **Generalização:** generalizável para determinada classe de problemas;
- **Aspectos não obrigatórios para o método:** colaboração entre pesquisador e participantes, base empírica, implementação.

Como observado por (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023), no último ponto, os autores esclarecem que a DSR não requer uma colaboração conjunta entre pesquisadores e participantes no ambiente em que a pesquisa é conduzida. Em algumas situações, pode ser necessária uma interação; contudo, o pesquisador pode trabalhar de forma colaborativa ou não ao usar a Design Science Research (COLLATTO et al., 2018).

No que diz respeito à DSR possibilitar a dispensa de base empírica e implementação, (SEIN et al., 2011) considera que, embora seja forte o apoio à abstração e à invenção, a intervenção organizacional é secundária na DSR. Apesar disso, (WEIGAND; JOHANNESSON; ANDERSSON, 2021) destacam a relevância das instanciações, que dizem respeito à aplicação prática do artefato em um ambiente ou contexto real, como essenciais para adquirir conhecimento através da avaliação do artefato.

Como informado por (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023), as atividades enumeradas por (COLLATTO et al., 2018) são as mesmas propostas e detalhadas por (DRESCH et al., 2015) como método para a condução da DSR, em 12 passos:

Conforme mencionado por (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023), as atividades descritas por (COLLATTO et al., 2018) coincidem e são expandidas detalhadamente por (DRESCH et al., 2015), apresentando um método estruturado em 12 passos para a condução da DSR, os quais são ilustradas na Figura 4.1, onde são descritos como um conjunto de atividades que devem ser realizadas sequencialmente, mas que podem ser adaptadas de acordo com a natureza do problema e do artefato a ser desenvolvido (DRESCH et al., 2015). Estas são as atividades informadas em (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023) e propostas por (DRESCH et al., 2015):

1. Identificação do problema;
2. Conscientização do problema;

3. Revisão Sistemática da Literatura, ocorrendo simultaneamente com a conscientização do problema;
4. Identificação de artefatos e classes existentes de problemas;
5. Proposição de artefatos para resolver o problema específico;
6. Projeto do artefato selecionado;
7. Desenvolvimento do artefato;
8. Avaliação do artefato;
9. Explicitação das aprendizagens;
10. Conclusões;
11. Generalização do artefato para determinada classe de problemas;
12. Comunicação dos resultados.

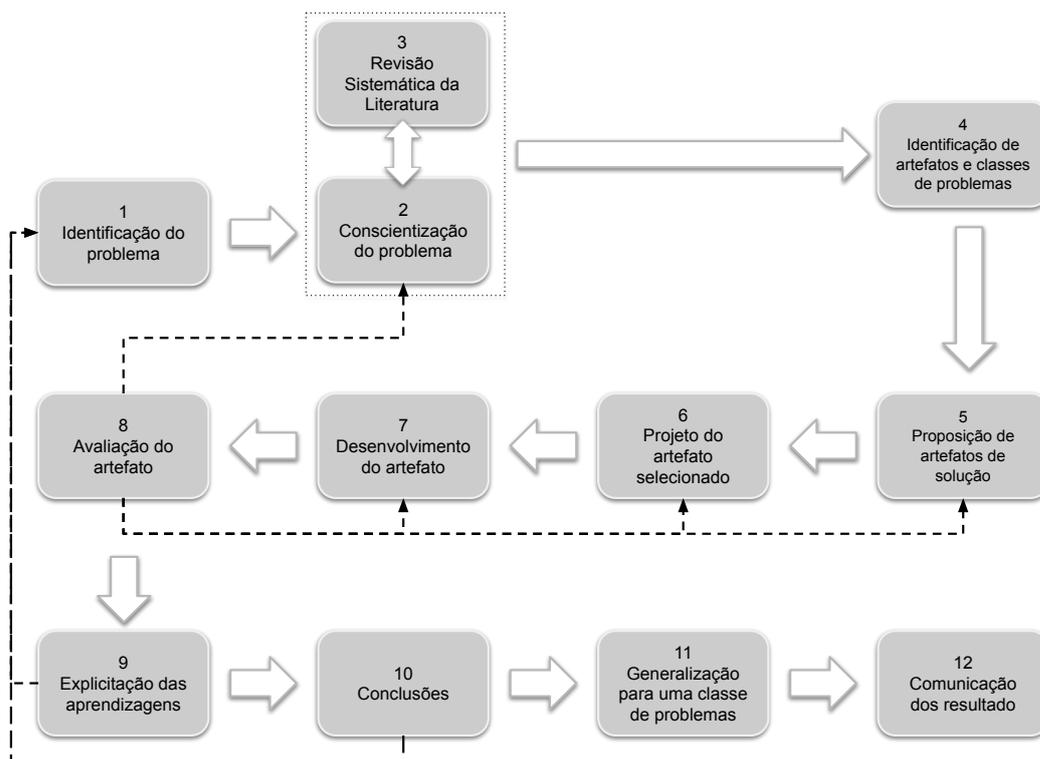


Figura 4.1: Etapas da DSR, adaptado de (DRESCH et al., 2015)

(SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023) esclare que as duas primeiras etapas, identificação e conscientização do problema, compreendem na descrição do problema identificado, justificando brevemente a sua relevância e o levantamento das principais informações referentes ao problema e ao contexto em que ele se encontra e, quando possível, suas principais causas.

Após compreendido o problema, acontece a RSL, que segundo (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023) e (DRESCH et al., 2015), é uma etapa fundamental pois permite “que o pesquisador faça uso de um conhecimento existente e consulte outros estudos com foco no mesmo problema ou em problemas similares aos dele”. Eles também informam que a RSL apoiará o pesquisador a identificar artefatos existentes, permitindo maior assertividade nas propostas de desenvolvimento de novos. Caso o pesquisador se depare com uma solução já existente na literatura, “sua pesquisa poderá continuar na medida em que o novo artefato traga melhores soluções em comparação aos existentes”(PIMENTEL; FILIPPO; SANTOS, 2020).

(DRESCH et al., 2015) apontam que as classes de problemas não são pré-definidas, exigindo do pesquisador um esforço intelectual considerável para desenvolvê-las e reconhecer os artefatos relacionados.

*Também é uma forma de assegurar que a pesquisa que está sendo desenvolvida oferece uma contribuição relevante para uma determinada classe de problemas. De fato, a configuração da classe de problemas definirá o alcance das contribuições do artefato.*(DRESCH et al., 2015)

De acordo com (WIERINGA, 2014), as etapas “Identificação do problema”; “Conscientização do problema”; “RSL”, e “Identificação de artefatos e classes existentes de problemas”, podem ser contidas na fase inicial proposta por ele, denominada “investigação do problema para compreender a situação”. Estas etapas tem correspondência com o “Espaço do problema” do Modelo DK (Design Knowledge) proposto por (BROCKE et al., 2020) que apresenta dois componentes principais, (1) contexto do problema, com descrição detalhada do problema e, (2) critérios de qualidade ou requisitos de design para solucionar o problema levantado.

Após esse levantamento inicial, onde são detectados os prós e contras de cada alternativa, considerando ainda o contexto e a viabilidade, definir aquele que apresentará a solução mais satisfatória(DRESCH et al., 2015), o pesquisador estará apto para as etapas cinco e seis, “Proposição de artefatos para resolver o problema específico” e “Projeto do artefato selecionado”, visto que elas são fundamentais para a etapa seguinte que se refere, propriamente, ao desenvolvimento do artefato selecionado.

Para (DRESCH et al., 2015) a etapa “desenvolvimento do artefato” não se refere exclusivamente ao desenvolvimento de produtos, mas inclui a geração de conhecimento aplicável à solução de problemas, melhoria de sistemas existentes ou criação de novas soluções. Já (WIERINGA, 2014) destaca que o

desenvolvimento de um projeto de soluções, podendo consistir em uma técnica, notação, instrumento, dispositivo, algoritmo, processo, estrutura de negócios nova ou aprimorada e ser apresentado de diferentes formas, como por meio de diagramas, esboços, plantas, modelos matemáticos, maquetes, protótipos, dentre outros.

As etapas 5,6 e 7, são fazem parte do “Espaço de solução” pertecente ao modelo DK de (BROCKE et al., 2020), e os resultados ou artefatos gerados pela DSR podem envolver desde artefatos podem variar, incluindo artefatos como construtos, modelos de solução, métodos e implementações, além de princípios e teorias de design.

Após o desenvolvimento do artefato, é realizada a etapa de avaliação, que, para (BROCKE et al., 2020), é o vínculo entre as soluções (“Espaço da solução”) e os problemas (“Espaço do problema”). Nesta etapa é possível demonstrar a validade prática e acadêmica do artefato, e a definição do método de avaliação deve estar alinhada diretamente ao tipo de artefato desenvolvido e sua aplicabilidade(SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023). (DRESCH et al., 2015) apontam que existem diversas metodologias para realizar essa avaliação, entre elas estão:

- **observacional:** verificando como se comporta o artefato, em um estudo de caso;
- **analítica:** estudando o artefato durante o uso para avaliá-lo, mensurando seu desempenho;
- **experimental:** estudando o artefato em ambiente controlado ou executando-o com dados artificiais;
- **teste:** executando o artefato para verificar falhas e defeitos;
- **descritiva:** utilizando informações das bases de conhecimento para argumentar a respeito da utilidade do artefato;
- **grupos focais:** para discussões mais profundas e participativas sobre o artefato.

As etapas 9 e 10, “Explicitação das aprendizagens” e “Conclusões”. Incluem a descrição dos aspectos de sucesso e aqueles que deveriam ser melhorados para uma próxima pesquisa(SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023).

E por fim, as etapas 11 e 12, “Generalização do artefato para determinada classe de problemas” e “Comunicação dos resultados”, são fundamentais para a validade científica do estudo, visto que a generalização dos resultados para uma classe de problemas permite que o conhecimento gerado em uma situação

específica possa, posteriormente, ser aplicado a outras situações similares e que são enfrentadas por diversas organizações (DRESCH et al., 2015).

Com o propósito de simplificar a compreensão da metodologia DSR, (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023) agrupou as 12 etapas em seis categorias de ação que sintetizam o processo como um todo, conforme ilustrado na Figura 4.2 e apresentado a seguir:

1. **Imersão:** para aprofundamento tanto em relação ao conteúdo teórico existente sobre o tema, quanto conhecimento da natureza prática do problema em questão;
2. **Ideação:** que envolve todo o processo criativo do pesquisador na proposição de soluções, tendo por base a teoria e por foco a relevância prática;
3. **Prototipação:** diretamente relacionada à construção do artefato;
4. **Avaliação:** que envolve colocar o artefato em uso, realizar testes, para verificação de validade prática;
5. **Conclusões:** aprendizagens, percursos da pesquisa, sucessos e insucessos, sugestões de pesquisas futuras e possibilidades de generalização da solução;
6. **Comunicação:** que envolve a divulgação dos resultados, publicações e produção de materiais.

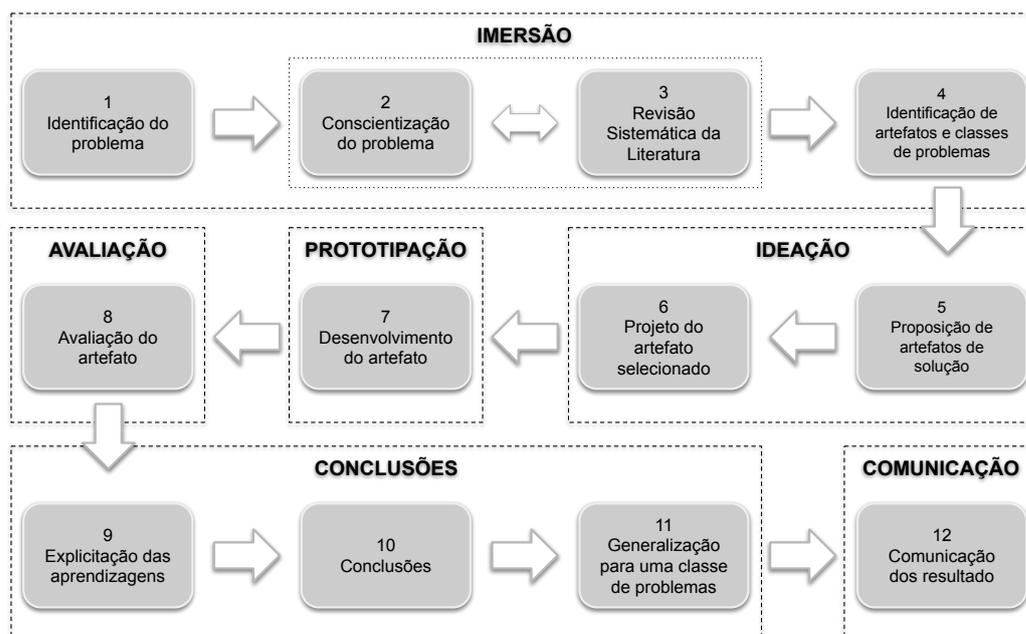


Figura 4.2: Categorias de ação da DSR, adaptado de (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023)

Segundo (WIERINGA, 2014), o design do projeto, dentro da metodologia DSR, é decomposto em três tarefas: Investigação do problema, Design da Solução e Validação da Solução. Estas três tarefas são chamadas pelo autor de Ciclo de Design, tendo em vista que os pesquisadores repetem estas tarefas muitas vezes durante o projeto, a fim de realizar a concepção da solução. O Ciclo de Design é parte integrante de um ciclo mais abrangente, conhecido como Ciclo de Engenharia, no qual a solução validada é aplicada e avaliada no mundo real. Esse ciclo superior engloba as etapas de Implementação da Solução e Avaliação da Implementação, marcando a transição da teoria para a prática através do uso e avaliação concretos da proposta de solução(WIERINGA, 2014).

As tarefas do ciclo de Design propostas por (WIERINGA, 2014) são equivalentes às etapas pertencentes aos grupos de ação propostos por (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023), onde a Imersão e Ideação possuem as etapas correspondentes à Investigação do problema, Design da Solução e Validação da Solução. Já as tarefas do Ciclo de Engenharia, Implementação da Solução e Avaliação da Implementação, possuem as etapas equivalentes nos grupos de ação Prototipação e Avaliação.

Apesar de (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023) não terem mencionado, a DSR é uma metodologia que se baseia em ciclos interligados e iterativos(DRESCH et al., 2015), onde há a definição do problema, concepção, construção, avaliação e disseminação. Os grupos de ação propostos por (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023), podem ser dispostos como um ciclo de DSR proposto por (WIERINGA, 2014), onde o pesquisador repete estas tarefas muitas vezes durante o projeto, a fim de realizar a concepção da solução, como pode ser observado na Figura 4.3.

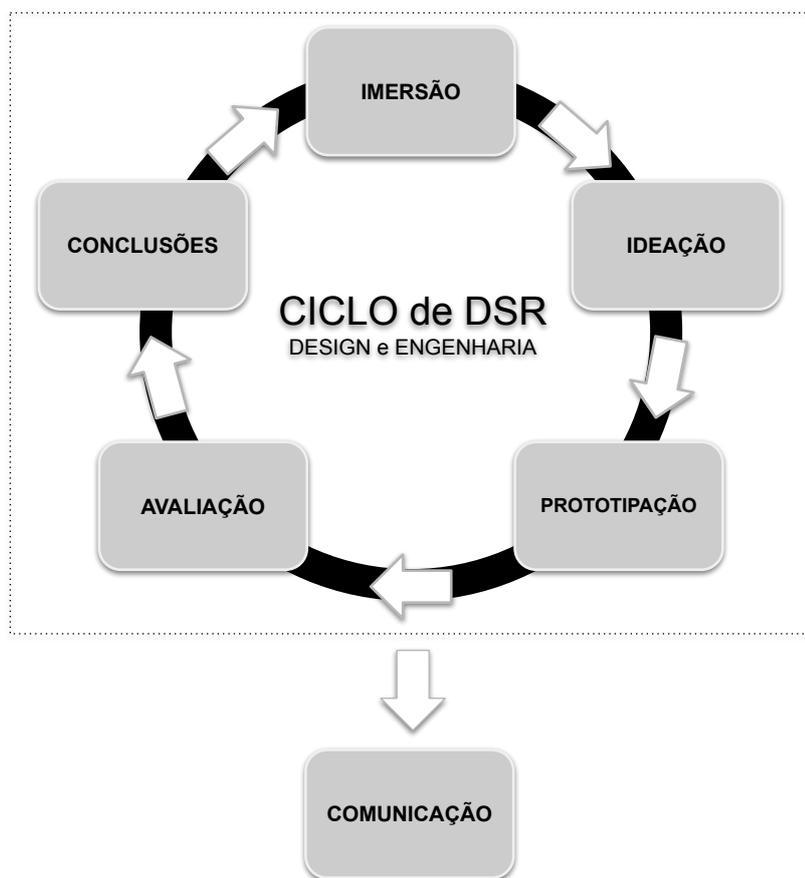


Figura 4.3: Ciclo de DSR que é composto pelas etapas de design e engenharia, adaptado de (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023) e (WIERINGA, 2014).

### 4.3 DSR na Tese

Nesta pesquisa, a metodologia DSR foi escolhida por ser considerada adequada para o desenvolvimento de artefatos tecnológicos no contexto da educacional inclusiva (PIMENTEL; FILIPPO; SANTOS, 2020), bem como para a investigação do uso desses artefatos em situações reais (DRESCH et al., 2015) (PIMENTEL; FILIPPO; SANTOS, 2020). Visto que, os fundamentos do método se baseiam nos pilares de validade científica e validade pragmática, isto assegura atender tanto ao rigor teórico e metodológico necessário quanto à garantia da utilidade da solução proposta para o problema em questão, conforme mencionado por (DRESCH et al., 2015).

Foram delineados três ciclos para conduzir o desenvolvimento e a avaliação da plataforma proposta nesta tese. O primeiro ciclo é distinto dos demais, pois foi voltado para a concepção da plataforma, enquanto os demais ciclos foram voltados para a implementação e avaliação da instância da plataforma no contexto da educação inclusiva. Cada ciclo foi composto por atividades de

investigação, design, desenvolvimento, avaliação e comunicação, as quais estão dispostas nas categorias de ação propostas por (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023), cujos objetivos e resultados estão alinhados com as etapas da DSR propostas por (DRESCH et al., 2015).

No primeiro ciclo, voltado para a concepção da plataforma, concentrou-se no planejamento e desenvolvimento da plataforma a qual foi pensada para ser a mais abrangente e reutilizável possível, além de dispor de um conjunto de ferramentas e utilitários que auxiliem os desenvolvedores na produção de novas aplicações. O incentivo para a criação da plataforma veio das oportunidades identificadas logo após a conclusão do projeto de pesquisa TensorPose (SILVA et al., 2019), onde foi desenvolvido um framework para a produção de aplicações interativas que fossem utilizar o algoritmo proposto no projeto, conforme informado na Seção 1.2. E foi através deste projeto que vieram os primeiros insights e conhecimentos tecnológicos para a criação de uma plataforma que fosse capaz de atender a diferentes necessidades e contextos. Os detalhes sobre a arquitetura e características da plataforma estão descritos no Capítulo 5, já as informações sobre o ciclo de concepção da plataforma estão descritas no Capítulo 6.

No segundo ciclo, conforme descrito no Capítulo 7, deu-se o início à pesquisa e estudos necessários para a implementação da instância da plataforma para o contexto da educação inclusiva. Neste ciclo, em colaboração com a Professora Dr<sup>a</sup> Alexandra Alves do Departamento de Informática Educativa do CPII, do Campus Realengo I, e que também leciona para os alunos do NAPNE, foram definidos os algoritmos de aprendizado de máquina a serem utilizados. Ademais, foram desenvolvidas as primeiras aplicações de atividades ludificadas que foram concebidas na forma de *templates*, cujos requisitos foram definidos pela professora, e testados internamente com ela, além de passarem por apresentações e testes com alguns professores e profissionais do NAPNE. A partir dos resultados obtidos, foram realizadas as primeiras iterações de melhorias e ajustes nas aplicações, e a definição de novas atividades a serem implementadas no próximo ciclo.

Por fim, no terceiro ciclo, apresentado detalhadamente no Capítulo 8, o foco voltou-se para a continuação do desenvolvimento das aplicações de atividades ludificadas. Este ciclo foi especialmente dedicado à concepção e avaliação de novas aplicações de atividades que também podem servir de *templates* para novas atividades. Essas aplicações, depois de cuidadosamente planejadas e elaboradas, serão submetidos a avaliações em oficinas conduzidas com professores de diferentes do Departamento de Informática Educativa do CPII, do Campus de Realengo I e com professores do CREIR, também do CPII.

O principal objetivo dessas avaliações foi validar a eficácia e a adaptabilidade dos templates para uma ampla gama de contextos educacionais.

A partir da execução desses ciclos, pode-se concluir que a metodologia de Design Science Research (DSR) demonstrou ser adequada para o desenvolvimento de artefatos tecnológicos no contexto da educação inclusiva. Os ciclos permitiram uma abordagem iterativa e colaborativa, desde a concepção da plataforma até a implementação e avaliação das aplicações ludificadas. Além disso, os fundamentos da DSR, baseados nos pilares de validade científica e validade pragmática, asseguraram tanto o rigor teórico e metodológico necessários quanto a utilidade prática das soluções propostas. Os resultados obtidos nos ciclos forneceram insights valiosos sobre a eficácia e adaptabilidade das aplicações para diferentes contextos educacionais, contribuindo assim para o avanço do conhecimento na área de tecnologia educacional e inclusão.

## 5

### A Plataforma

Na Seção 1.2, foi destacado que, em vez de estender o framework desenvolvido no projeto TensorPose(SILVA et al., 2019), optou-se por criar uma nova arquitetura com base nas tecnologias web. Na época, ainda não estava definido qual seria o foco de uso dessa nova arquitetura. Por isso, decidiu-se que ela deveria ser o mais abrangente e reutilizável possível, além de fornecer um conjunto de ferramentas e utilitários para auxiliar os desenvolvedores na criação de novas aplicações. Diante disso, a arquitetura foi logicamente dividida em dois componentes intimamente relacionados: a aplicação e a plataforma na qual a aplicação é executada.

A principal característica da plataforma é aumentar o nível de abstração no desenvolvimento de soluções e cenários de uso. Isso permite que os desenvolvedores se concentrem na aplicação em si, sem se preocupar com complexidades tecnológicas que exigiriam experiência específica. Conseqüentemente, a plataforma acelera significativamente o desenvolvimento de soluções e lida eficientemente com tarefas relacionadas a desempenho e funcionalidades comuns.

A seguir, são apresentados detalhes sobre a plataforma proposta, denominada FrameLand, seguidos pela descrição da instância da plataforma para o contexto da educação inclusiva.

#### 5.1

##### Plataforma FrameLand: visão geral

A plataforma FrameLand é fundamentalmente constituída por elementos de aquisição, processamento e visualização, onde:

- o elemento de aquisição é responsável pela captura de imagens, vídeo, áudio e dados (como por exemplo, a orientação de um smartphone);
- o elemento de processamento possui a função de realizar a renderização dos gráficos em um canvas e pela execução dos algoritmos de aprendizado de máquina;
- o elemento de visualização mostra os gráficos gerados em um monitor, TV ou em um smartphone com o dispositivo VR do tipo Google Cardboard;

Com o propósito de ser o mais abrangente possível, o notebook e o smartphone são considerados como os equipamentos essenciais para a plataforma, em razão das instituições e pessoas já possuí-los ou por poderem ser adquiridos em lojas de varejo, e principalmente devido a sua mobilidade, o

que permitirá que a plataforma possa ser transportada para qualquer lugar. Além destes equipamentos, também são considerados os seguintes dispositivos e recursos:

- Rede wifi disponibilizada por intermédio de um access point ou por um hotspot fornecido por um smartphone, onde, ambas as redes deverão usar o padrão 802.11n<sup>1</sup> ou superior;
- Conexão com a internet, onde, dependendo do cenário em que a plataforma será utilizada, esta conexão não necessita ser de banda larga ou poderá até ser opcional;
- Acesso a um servidor web com o protocolo https habilitado que será utilizado para hospedar alguns componentes e aplicações da plataforma. Como este recurso será disponibilizado pela plataforma, dependendo do cenário, não será necessário acesso a um servidor web externo;
- Headset VR tipo Google Cardboard para os caso em que visualização das aplicações forem realizadas em realidade virtual imersiva;
- (opcional, contudo recomendado) uma TV que poderá ser conectada ao notebook por um cabo HDMI, ou poderá ser conectada a um smartphone ou notebook por meio de uma conexão wireless através de um dispositivo Google Chromecast;
- (opcional) um servidor, onde, dependendo do cenário, será utilizado para a execução dos algoritmos de aprendizado de máquina e/ou realizar o processamento gráfico;

Os equipamentos considerados para uso com a plataforma podem ser classificados de acordo com o tipo de elemento, como apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Classificação dos equipamentos de acordo o tipo do elemento

<b>Equipamento</b>	<b>Aquisição</b>	<b>Processamento</b>	<b>Visualização</b>
Notebook	sim	sim	sim
Smartphone	sim	sim	sim
TV	não	não	sim
Servidor	não	sim	não

A partir da associação dos elementos oferecidos pela plataforma, é possível criar um considerável número de cenários, onde cada cenário poderá

<sup>1</sup><https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/000005725/wireless/legacy-intel-wireless-products.html>

ser utilizado para o desenvolvimento de aplicações de realidade virtual não imersiva, realidade virtual imersiva e realidade aumentada. Os cenários podem ser agrupados de acordo com a localização geográfica dos dispositivos e onde será realizada a aquisição, o processamento e a visualização, conforme descrito a seguir.

### 5.1.1

#### Cenários com os elementos na mesma localização geográfica

Nos cenários presentes na tabela 5.2, todos os elementos são executados no navegador, os equipamentos estão na mesma localização geográfica e conectados na mesma rede. Em todos cenários a execução dos algoritmos de aprendizagem de máquina é realizada no notebook, enquanto os equipamentos usados na aquisição e visualização variam de acordo com o cenário. Estes cenários são indicados para o desenvolvimento de aplicações de realidade virtual imersiva e não imersiva, e realidade aumentada.

Tabela 5.2: Cenários em que todos os elementos são executados no navegador

Aquisição	Processamento Gráfico	Processamento da IA	Visualização	Aplicabilidade
Notebook	Notebook	Notebook	Smartphone	- VR não imersiva - AR
Notebook	Notebook	Notebook	TV - HDMI - Chromecast (tab cast)	- VR não imersiva - AR
Smartphone	Notebook	Notebook	Notebook ou TV - HDMI - Chromecast (tab cast)	- VR não imersiva - AR
Smartphone I	Smartphone II	Notebook	Smartphone II + Cardboard	VR imersiva
Continua na próxima página				

Tabela 5.2 – Continuação da página anterior

Aquisição	Processamento Gráfico	Processamento da IA	Visualização	Aplicabilidade
Smartphone I	Notebook II	Notebook	Smartphone II + Cardboard	VR imersiva

### 5.1.2

#### Cenários com os elementos em localização geográficas distintas

Neste cenário o smartphone e a TV que são, respectivamente, os elementos de aquisição e visualização estão no mesmo local, enquanto o notebook, que é o elemento de processamento, está em uma localização geográfica diferente. Neste cenário, que é apresentado na Tabela 5.3, será necessário acesso à internet através de conexão de banda larga. Este cenário é indicado para aplicações de realidade aumentada e realidade virtual não imersiva.

Tabela 5.3: Cenário em que os elementos estão em localização geográfica diferente

Aquisição	Processamento Gráfico	Processamento da IA	Visualização	Aplicabilidade
Smartphone	Smartphone	Notebook	Smartphone + TV + Chromecast	- VR não imersiva - AR

### 5.1.3

#### Cenários com os elementos de processamento executados em um servidor

Nos cenários presentes na Tabela 5.4, os algoritmos de aprendizado de máquina sempre são executados em um servidor a partir de uma instância do Google Chrome no modo headless, onde a GUI é desabilitada, ou a partir de um serviço especializado. Já o processamento gráfico, em alguns cenários, é realizado no servidor, e em outros no smartphone.

Nestes cenários o servidor poderá estar em uma rede local ou na nuvem, onde, caso ele não esteja na rede local, será necessário acesso à internet com conexão de banda larga. As aplicações indicadas para serem desenvolvidas para estes cenários são as de realidade aumentada e de realidade virtual imersiva e

não imersiva. Tais cenários são ideais para pesquisadores que desejem testar os algoritmos de aprendizado de máquina de suas pesquisas.

Tabela 5.4: Cenários onde os processamentos são realizados em um servidor

Aquisição	Processamento Gráfico	Processamento da IA	Visualização	Aplicabilidade
Smartphone	Chrome headless no Servidor	Chrome headless no Servidor	TV + Chromecast	- VR não imersiva - AR
Smartphone	Chrome headless no Servidor	Serviço especializado no Servidor	TV + Chromecast	- VR não imersiva - AR
Smartphone I	Chrome headless no Servidor	Serviço especializado no Servidor	Smartphone II + Cardboard	VR imersiva
Smartphone I	Smartphone II	Notebook	Smartphone II + Cardboard	VR imersiva

#### 5.1.4 Arquitetura da plataforma

A arquitetura da plataforma FrameLand é formada por dois ambientes: o ambiente de execução e o ambiente de serviços. Como pode ser visto no diagrama da Figura 5.1, estes ambientes irão fornecer os recursos necessários para a execução das aplicações desenvolvidas sobre eles. Convém ressaltar que apesar do ambiente de execução poder fazer uso dos serviços disponibilizados pelo ambiente de serviços, não existe dependência entre eles.

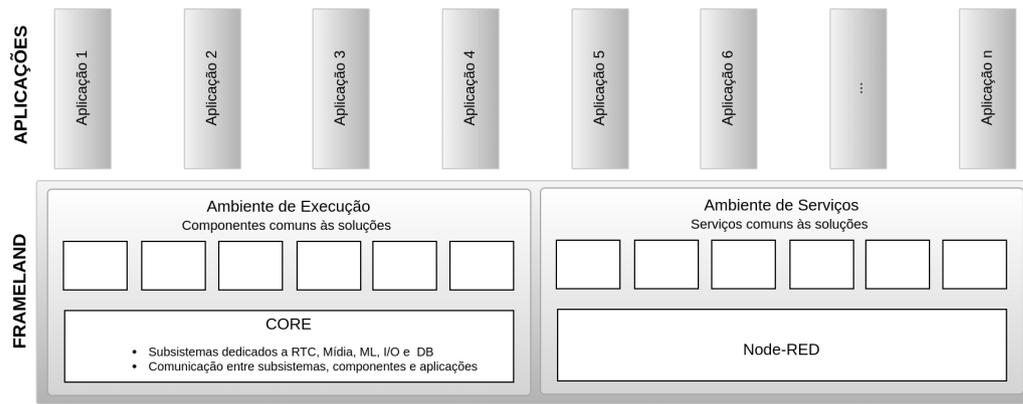


Figura 5.1: Visão Geral da Arquitetura da Plataforma FrameLand

#### 5.1.4.1 Ambiente de Execução

A arquitetura da plataforma depende fortemente do ambiente de execução, já que ele é o responsável por executar todas as aplicações desenvolvidas sobre a plataforma. Sua execução é realizada diretamente no navegador, onde seus componentes fazem uso extensivo das APIs web oferecidas pelos navegadores modernos. Ele é constituído pelo Core que possui um conjunto de subsistemas e por alguns componentes comuns a diversas soluções.

O Core é composto por subsistemas, onde cada subsistema é responsável por implementar as funcionalidades essenciais para o ambiente de execução. Os subsistemas disponibilizados e ilustrados na Figura 5.2 são os seguintes:

- **RTC & Media:** responsável por realizar a comunicação em tempo real entre os elementos da plataforma, além de gerenciar todos os recursos de vídeo e áudio;
- **I/O:** responsável manipular o acesso a arquivos e por gerar eventos de um joystick virtual a partir dos dados recebidos do subsistema ML;
- **ML:** responsável por executar os algoritmos de aprendizado de máquina, emitindo eventos com os dados inferidos;
- **Database:** responsável por gerenciar os bancos de dados utilizados pelos componentes e aplicações;

A troca de informações entre os subsistemas, componentes e aplicações é realizada por canais de comunicação criados a partir da API web disponibilizada pelo navegador. Os canais de comunicação oferecidos no Core são os seguintes:

- **i/o channel:** todos os eventos gerados pelo subsistema I/O são emitidos através deste canal para o subsistema RTC & Media, componentes e aplicações;
- **ml channel:** os dados inferidos no subsistema ML trafegam por este canal, onde são recebidos pelos subsistemas I/O e RTC & Media;
- **db channel:** neste canal são trafegados todos os dados gerados pelos componentes e aplicações que são gerenciados pelo subsistema Database;

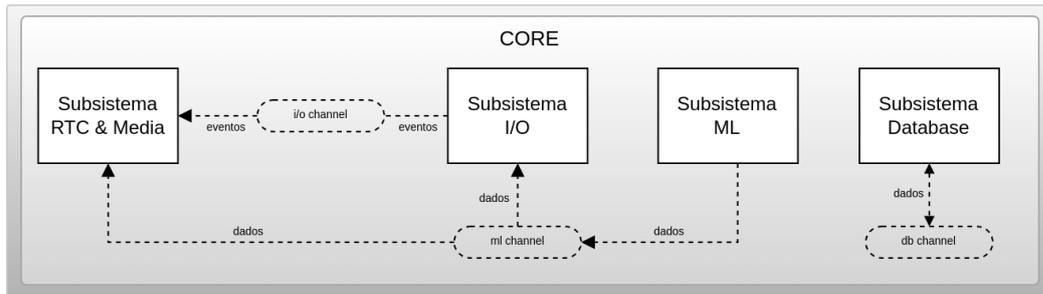


Figura 5.2: Subsistemas e canais de comunicação disponibilizados pelo Core

O componente disponibilizado pelo ambiente de execução que é considerado comum, independentemente do tipo de aplicação desenvolvida sobre a plataforma, é o Gerenciador de usuários e acesso, que é responsável por adicionar, remover e atualizar informações dos usuários que podem acessar as soluções desenvolvidas sobre a plataforma, assim como fornecer um sistema de login para que estes usuários possam acessar a plataforma.

#### 5.1.4.2 Ambiente de Serviços

A finalidade deste ambiente é disponibilizar um ecossistema com ferramentas e serviços para apoiar o desenvolvimento e execução das aplicações construídas sobre a plataforma FrameLand. Através deste ambiente as aplicações podem executar as tarefas que demandem maior poder computacional, como por exemplo os algoritmos de aprendizado de máquina que ainda não estejam disponíveis para serem executados no navegador ou que seu desempenho não seja satisfatório quando executado na plataforma web. Como informado anteriormente, este ambiente não tem dependência do ambiente de execução, ou seja, qualquer aplicação pode utilizar os serviços disponibilizados por este ambiente, independente de onde ela esteja sendo executada.

Como a base de comunicação da arquitetura deste ambiente é construída sobre as tecnologias WebRTC<sup>2</sup> e gRPC<sup>3</sup>, então, isto permite que uma aplicação

<sup>2</sup><https://webrtc.org>

<sup>3</sup><https://grpc.io/>

desenvolvida no navegador possa consumir serviços que não estejam necessariamente no mesmo dispositivo onde está sendo executado este ambiente, ou seja, os novos serviços podem ser implementados na forma de microsserviços, onde eles podem ser multiplataforma e distribuídos. As tecnologias escolhidas permitem que a comunicação entre a aplicação e os microsserviços ou entre microsserviços, seja realizada com baixa latência, o que é fundamental para as aplicações de tempo real.

É importante destacar que apesar do ambiente de serviços utilizar as tecnologias disponíveis e utilizadas por grandes provedores de serviços como AWS e Google, para esta pesquisa, ele somente será validado para uso em menor escala, como em laboratórios de pesquisa, consultórios médicos, laboratórios de computação de escolas e até por profissionais que necessitem levar o ambiente consigo.

O ambiente de serviços disponibiliza os seguintes componentes, que são implementados e executados sobre o Node-RED<sup>4</sup>, conforme mostrado na Figura 5.3 e listados a seguir:

- Servidor web com suporte a https auto-certificado usado para disponibilizar o ambiente de execução localmente, ou seja, dispensando a necessidade de acesso à Internet;
- Servidor SFU (Selective Forward Unit) baseado no servidor de mídia MediaSoup<sup>5</sup> para fazer o roteamento dos streams de vídeo, áudio e dados do WebRTC;
- Serviço de interoperabilidade entre aplicações que usem a API WebRTC e microsserviços que utilizem o framework gRPC;

<sup>4</sup><https://nodered.org>

<sup>5</sup><https://mediasoup.org>

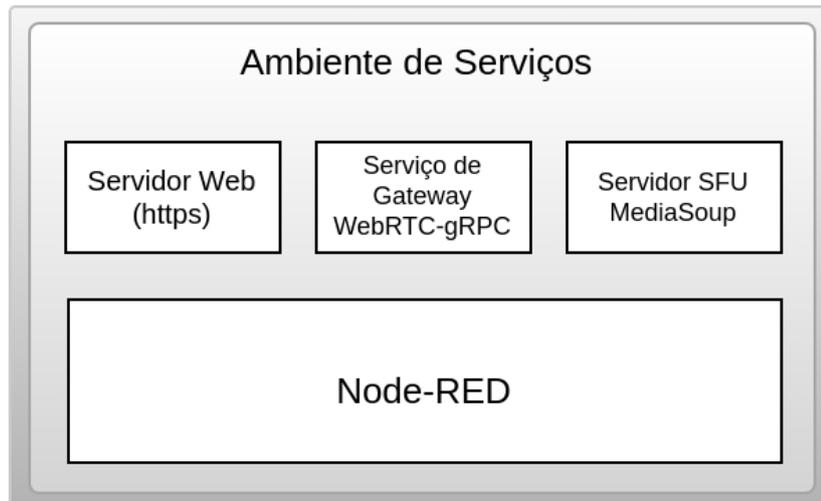


Figura 5.3: Componentes do ambiente de serviços implementados e executados sobre o Node-RED

### 5.1.4.3 Tecnologias Escolhidas

As tecnologias usadas no projeto estão classificadas em:

- Comunicação
- Frontend
- Backend
- Aprendizado de máquina

#### Comunicação

As tecnologias WebRTC e gRPC formam a base de comunicação da plataforma FrameLand. Para comunicação de vídeo e áudio em tempo real a partir e para o navegador, foi escolhida a API WebRTC, pois ela é implementada nativamente em diversos navegadores<sup>6</sup>. Contudo, como o WebRTC é uma solução de comunicação ponto a ponto especializada na transmissão e recepção de vídeo, áudio e dados simples, então, ela não é ideal quando há necessidade de comunicação de dados com estruturas mais complexas como na aplicações construídas em uma arquitetura cliente-servidor. Para estes casos foi escolhido o framework gRPC, por ele facilitar o desenvolvimento de aplicações multiplataforma e distribuída, além de ter suporte à diversas linguagens de programação e podendo ser executado em ambientes desktop, servidores, em dispositivos móveis e até em navegadores web. Apesar do framework gRPC poder ser usado no navegador, a solução fornecida por ele necessita de um servidor proxy para realizar

<sup>6</sup><https://caniuse.com/rtcpeerconnection>

a comunicação entre o cliente que está no navegador(HTTTP/1.1) e o servidor gRPC (HTTTP/2), onde este componente adiciona uma determinada latência na comunicação e um maior consumo de memória e processamento, sendo assim, ele não é ideal para aplicações com transmissão de vídeo e áudio.

### Frontend

Como o ambiente de execução é processado inteiramente no navegador, isto implica que o desempenho das aplicações neste ambiente é crucial para garantir uma experiência agradável para o usuário. Sendo assim, foi realizada uma busca por ferramentas, bibliotecas e frameworks que atendessem ao requisito de desempenho, que seu uso não fosse complexo, que tivesse boa documentação e que possuísse uma comunidade de desenvolvedores ativa e receptiva a novos desenvolvedores.

Foi escolhido o framework SvelteKit<sup>7</sup> para a criação dos componentes que constituem a interface com o usuário. O SvelteKit é construído sobre o projeto Svelte<sup>8</sup>, ambos são projetos relativamente novos quando comparados aos projetos React<sup>9</sup>, Angular<sup>10</sup> e Vue.js<sup>11</sup>, entretanto, eles possuem todas as funcionalidades que necessitamos, principalmente nos quesitos desempenho e facilidade de uso. Como informado por seus desenvolvedores, o Svelte é um compilador, onde no processo de compilação ele converte seus componentes declarativos em código JavaScript que tem a função de atualizar o DOM de forma eficiente. Ou seja, por ser um compilador, logo, código gerado a partir de seus componentes, é mais otimizado e menor que os componentes implementados nas bibliotecas React, Vue.js e Angular.

Para web rendering engine foi escolhido o projeto Babylon.js<sup>12</sup>. Ainda que os projetos Three.js<sup>13</sup> e PlayCanvas<sup>14</sup> possuam as características necessárias para a plataforma, o Babylon.js, além de possuir as mesmas características, também fornece um conjunto adicional de funcionalidades que é fundamental para auxiliar o desenvolvimento das aplicações gráficas, dentre elas estão:

- Sistema de animação completo;
- Sistema de som com recursos de som 3D;
- Suporte a diversos engines de física;

<sup>7</sup><https://kit.svelte.dev>

<sup>8</sup><https://svelte.dev>

<sup>9</sup><https://reactjs.org>

<sup>10</sup><https://angular.io>

<sup>11</sup><https://vuejs.org>

<sup>12</sup><https://www.babylonjs.com>

<sup>13</sup><https://threejs.org>

<sup>14</sup><https://playcanvas.com>

- Suporte nativo e transparente a WebGPU<sup>15</sup>;
- Sistema de pós-processamento;
- Sistema de partículas;
- Sistema completo de WebXR<sup>16</sup>(MACLNTYRE; SMITH, 2018);

### Backend

O projeto Node-RED foi escolhido como base para o ambiente de serviços. A opção pelo Node-RED se dá principalmente por ele ser leve e construído sobre o projeto Node.js<sup>17</sup>, que é um runtime de JavaScript assíncrono orientado a eventos, tornando-o ideal para ser executado em hardware de baixo custo, conforme informado no site do projeto. Como o Node.js possui mais de 2.1 milhões de módulos em seu repositório de pacotes<sup>18</sup>, então, estender e adicionar novos recursos ao Node-RED é relativamente fácil. Um dos principais recursos fornecidos com ele, é o editor flow-based, que é executado diretamente no navegador, facilitando assim a criação de fluxos de execução, através do uso da ampla variedade de nós disponíveis em sua lista de componentes, onde, o deploy dos fluxos pode ser realizado em tempo de execução através de um único clique. Além disso, uma biblioteca integrada a ele, permite que sejam salvas as funções, modelos ou fluxos úteis para posterior reutilização. E uma de suas características que merece atenção é o que eles chamam de desenvolvimento social, onde os fluxos criados são armazenados usando o formato JSON que pode ser facilmente importado e exportado para compartilhamento com outras pessoas.

### Aprendizado de máquina

Apesar da existência de diversos algoritmos de aprendizado de máquina, foram selecionados somente os algoritmos relacionados à estimação de poses humanas, devido a possibilidade de usá-los tanto para aplicações sérias, como para aplicações de entretenimento; outro fator que levou a essa decisão, foi a experiência adquirida com este tipo de algoritmo durante o início de nossa pesquisa.

Para realizar a estimação de poses humanas diretamente no navegador, foi escolhido o modelo MoveNet<sup>19</sup> e algumas soluções do framework Media-

<sup>15</sup><https://www.w3.org/TR/webgpu/>

<sup>16</sup><https://www.w3.org/TR/webxr/>

<sup>17</sup><https://nodejs.org>

<sup>18</sup><https://www.npmjs.com>

<sup>19</sup><https://blog.tensorflow.org/2021/05/next-generation-pose-detection-with-movenet-and-tensorflowjs.html>

Pipe<sup>20</sup>. O modelo MoveNet tem a capacidade de inferir as coordenadas 2D de 17 keypoints do corpo humano. Além de ter um bom desempenho, ele também faz o rastreamento da pose detectada. O MediaPipe é um framework multiplataforma que oferece diversas soluções customizáveis de aprendizado de máquina voltadas ao streaming de vídeo e áudio. Das várias soluções em JavaScript do MediaPipe, as que escolhemos para o nosso projeto foram: Pose<sup>21</sup>, Hands(ZHANG et al., 2020), Face Mesh<sup>22</sup> e Holistic<sup>23</sup>. Estas soluções foram escolhidas devido à qualidade das inferências e ao bom desempenho fornecido por seus modelos, e ao fato de suas predições gerarem coordenadas 3D para os landmarks inferidos.

## 5.2

### A plataforma na educação inclusiva

Conforme mencionado no Capítulo 1, a educação inclusiva é um tema relevante e desafiador, que visa garantir o acesso e a permanência de todos os alunos na escola, independentemente de suas necessidades específicas. Nesse contexto educacional, os professores desempenham um papel fundamental na identificação e no apoio aos estudantes com necessidades especiais, como os diagnosticados com Transtorno do Espectro Autista e Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade. No entanto, muitos professores enfrentam dificuldades em lidar com esses alunos, devido à carência de recursos e ferramentas específicas para apoiá-los em sala de aula.

A Seção 1.1 ressalta que a gamificação é uma abordagem que tem sido amplamente utilizada para tornar o aprendizado mais envolvente e motivador, especialmente para crianças e jovens. Contudo, no contexto educativo, há aspectos negativos associados à gamificação de aplicações educativas(ALMEIDA et al., 2023), como a competição e a pressão para alcançar metas, que podem ser prejudiciais para os alunos com necessidades especiais. A ludificação, por outro lado, tem como objetivo principal promover a diversão, a criatividade e a interação social, sem necessariamente seguir uma estrutura formal de jogo(LOUREIRO; AL., 2021)(SOUZA; MOLINA, 2023). Visto que a ludificação é uma abordagem mais flexível e menos competitiva, ela pode ser mais adequada para estudantes com necessidades especiais, como os diagnosticados com TEA e TDAH, pois permite que eles aprendam de forma mais descontraída e prazerosa, sem a pressão de atingir metas ou competir com os colegas.

<sup>20</sup><https://mediapipe.dev>

<sup>21</sup><https://google.github.io/mediapipe/solutions/pose.html>

<sup>22</sup>[https://google.github.io/mediapipe/solutions/face\\_mesh.html](https://google.github.io/mediapipe/solutions/face_mesh.html)

<sup>23</sup><https://google.github.io/mediapipe/solutions/holistic.html>

Como destacado na Seção 1.1, a realidade estendida é uma tecnologia emergente que vem sendo utilizada para criar ambientes de aprendizagem mais imersivos e interativos. A Seção 1.1 também ressalta que os algoritmos de aprendizado de máquina têm sido empregados como ferramentas de apoio ao diagnóstico e tratamento de crianças com necessidades específicas, como crianças com TEA e TDAH. A utilização combinada de XR e ML, no contexto da educação inclusiva, traz benefícios significativos tanto para os alunos quanto para os professores, pois permite a criação de atividades personalizadas e adaptadas às necessidades individuais de cada aluno.

Uma vez que os professores dos primeiros anos do Ensino Fundamental I desempenham um papel crucial no desenvolvimento de habilidades fundamentais, como leitura, escrita e matemática, é essencial fornecer-lhes recursos e estratégias específicas para lidar com alunos com TEA e TDAH. A falta de soluções inclusivas para apoiar esses professores pode comprometer o progresso educacional e o bem-estar emocional dos alunos afetados. Diante dessa necessidade, veio a decisão da criação de uma instância da plataforma FrameLand voltada para a educação inclusiva, com o objetivo de fornecer recursos e ferramentas que permitam aos professores criar atividades lúdicas e interativas, utilizando tecnologias como realidade estendida e algoritmos de aprendizado de máquina.

O Colégio Pedro II, apresentado na Seção 2.1.5, desempenha um papel crucial no desenvolvimento da instância da plataforma FrameLand para a educação inclusiva. Como uma instituição pública federal de ensino, o CPII abrange uma ampla gama de alunos, incluindo aqueles com necessidades especiais, por meio do Núcleo de Atendimento às Pessoas com Necessidades Educacionais Específicas (NAPNE), presente em todas as suas unidades. Como informado na Seção 2.1.1.3.3, o NAPNE é composto por uma equipe multidisciplinar dedicada a oferecer suporte pedagógico aos alunos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades/superdotação.

No contexto do CPII, os professores de áreas específicas que atendem o NAPNE, como informática educativa, têm a importante responsabilidade de desenvolver atividades personalizadas e adaptadas às necessidades dos alunos com deficiência, incluindo aqueles diagnosticados com Transtorno do Espectro Autista e Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade. Além de lecionar disciplinas de informática, os professores do Departamento de Informática Educativa<sup>24</sup> também atuam como multiplicadores, compartilhando práticas inclusivas e tecnologias educacionais com os demais professores da escola.

Entretanto, devido à formação dos professores, que em geral consiste em

<sup>24</sup><https://www.cp2.g12.br/blog/informaticaeducativa/>

pedagogia e/ou licenciaturas com especialização em Informática Educativa, nem todos possuem conhecimento em Ciência da Computação para o desenvolvimento de aplicações que atendam às necessidades específicas dos estudantes. Diante desse cenário, a instância da plataforma FrameLand para a educação inclusiva surge como uma solução essencial para suprir essa demanda. Esta instância foi concebida para fornecer recursos, aplicações e ferramentas que capacitem os professores a personalizar e adaptar as atividades de acordo com as necessidades individuais dos alunos, tanto em atividades regulares quanto adaptadas.

A instância da plataforma FrameLand para a educação inclusiva foi idealizada em colaboração com a Professora Dr<sup>a</sup> Alexandra Alves do Departamento de Informática Educativa da unidade de Realengo I do Colégio Pedro II. A professora Alexandra é especialista em Ciência da Computação e Informática Educativa, e tem vasta experiência no desenvolvimento de atividades lúdicas e interativas para alunos com necessidades especiais, principalmente os diagnosticados com TEA e TDAH que são atendidos no NAPNE do CPII. Sua contribuição foi fundamental para a definição dos requisitos e funcionalidades da instância da plataforma FrameLand, garantindo que ela atenda às necessidades específicas dos professores e alunos do contexto da educação inclusiva.

De modo geral, esta instância possui todas as funcionalidades da plataforma FrameLand, contudo, inclui algumas aplicações de atividades ludificadas que podem ser personalizadas e adaptadas às necessidades dos alunos, em especial aqueles diagnosticados com TEA e TDAH. Estas aplicações poderão ser utilizadas como templates para o desenvolvimento de novas atividades, permitindo que os professores criem experiências de aprendizagem mais envolventes e eficazes para seus alunos.

Os requisitos e componentes da instância da plataforma FrameLand para a educação inclusiva são apresentados a seguir, onde são detalhados os requisitos funcionais e não funcionais, bem como os componentes relacionados à inteligência artificial que devem ser incorporados às aplicações para melhorar a experiência de aprendizagem dos alunos. Além disso, é mostrada a relação entre o Desenho Universal para a Aprendizagem e os requisitos da instância da plataforma, destacando a importância de oferecer múltiplas formas de representação, ação e expressão para atender às necessidades dos alunos com deficiência. E por fim, são descritos os cenários da plataforma FrameLand associados a sua instância na educação inclusiva, que abrangem diferentes contextos de uso, como a sala de recursos multifuncionais do NAPNE, o ensino remoto e laboratórios de pesquisa em computação.

### 5.2.1

#### Requisitos e Componentes da Plataforma FrameLand para Educação Inclusiva

Para as aplicações voltadas à educação inclusiva na plataforma FrameLand, foram definidos alguns requisitos funcionais e não funcionais que devem ser atendidos para garantir a eficácia e a acessibilidade das atividades desenvolvidas. Essa categorização ajuda a distinguir entre os requisitos que descrevem o que o sistema deve fazer (requisitos funcionais) e os requisitos que descrevem as características que o sistema deve possuir (requisitos não funcionais). Além disso, foram identificados alguns componentes relacionados à inteligência artificial que devem ser incorporados às aplicações para melhorar a experiência de aprendizagem dos alunos.

#### Requisitos Funcionais

Os requisitos funcionais descrevem as funcionalidades que as aplicações devem oferecer para atender às necessidades dos alunos e professores. A seguir estão alguns dos requisitos funcionais para as aplicações na plataforma FrameLand para educação inclusiva.

**Adaptabilidade do Conteúdo:** Permite a personalização da experiência de aprendizagem para atender às necessidades individuais dos alunos. Isso pode ser feito por meio de diferentes mecanismos, como:

- **Níveis de dificuldade:** As aplicações podem oferecer diferentes níveis de dificuldade para cada atividade, permitindo que os alunos progridam em seu próprio ritmo.
- **Estilos de aprendizagem:** As aplicações podem oferecer diferentes estilos de aprendizagem, como visual, auditivo e cinestésico, para atender às preferências individuais dos alunos.
- **Interesses dos alunos:** As aplicações podem usar informações sobre os interesses dos alunos para recomendar conteúdo relevante e personalizado.

**Interatividade:** As atividades interativas e envolventes podem tornar a experiência de aprendizagem mais estimulante e divertida para os alunos. Alguns exemplos de atividades interativas incluem:

- **Jogos educativos não competitivos:** Os jogos não competitivos podem ser usados para ensinar conceitos de forma divertida e envolvente.

- **Simulações:** As simulações podem permitir que os alunos experimentem diferentes conceitos e cenários em um ambiente seguro e virtual.
- **Experiências de realidade aumentada e virtual:** A XR pode ser usada para criar experiências de aprendizagem imersivas e interativas.

**Feedback Imediato:** O feedback imediato e construtivo pode ajudar os alunos a entender seu desempenho e progresso, e a identificar áreas em que precisam melhorar. O feedback pode ser fornecido de diversas maneiras, como:

- **Mensagens de feedback:** As aplicações podem fornecer mensagens de feedback personalizadas para cada atividade.
- **Tutoriais e dicas:** As aplicações podem oferecer tutoriais e dicas para ajudar os alunos a completar as atividades.
- **Rastreamento de progresso:** As aplicações podem acompanhar o progresso dos alunos e fornecer relatórios sobre seu desempenho.

**Integração de Tecnologias:** A integração de tecnologias como XR e ML pode oferecer experiências de aprendizagem diversificadas e inclusivas. Esta integração já está contida na plataforma FrameLand, mas é importante destacar a importância dessa integração para a educação inclusiva. Entre as vantagens dessa integração estão:

- **Experiências imersivas:** A XR pode criar experiências de aprendizagem imersivas que permitem que os alunos explorem conceitos de forma mais profunda.
- **Aprendizagem personalizada:** O ML pode ser usado para personalizar a experiência de aprendizagem para cada aluno.
- **Acessibilidade:** As tecnologias como XR e ML podem ser usadas para tornar as aplicações mais acessíveis para alunos com diferentes necessidades.

### Requisitos Não Funcionais

Os requisitos não funcionais descrevem as características que as aplicações devem possuir para garantir sua eficácia, segurança e acessibilidade. A seguir estão alguns dos requisitos não funcionais para as aplicações na plataforma FrameLand para educação inclusiva.

**Acessibilidade:** As aplicações devem ser acessíveis para todos os alunos, independentemente de suas habilidades ou características individuais. Isso pode ser feito por meio de:

- **Tecnologias assistivas:** As aplicações podem ser compatíveis com tecnologias assistivas, como leitores de tela e software de reconhecimento de voz.
- **Design inclusivo:** As aplicações podem ser projetadas com interfaces simples e intuitivas, que sejam fáceis de usar por todos os alunos.
- **Conteúdo acessível:** O conteúdo das aplicações deve estar disponível em formatos acessíveis, como texto alternativo para imagens e vídeos.

**Flexibilidade:** O design das aplicações deve ser flexível, permitindo que os alunos tenham várias maneiras de acessar e interagir com o conteúdo. Isso pode ser feito por meio de:

- **Diferentes dispositivos:** As aplicações devem ser compatíveis com diferentes dispositivos, como computadores, tablets e smartphones.
- **Diferentes estilos de interação:** As aplicações devem oferecer diferentes maneiras de interagir com o conteúdo, como por meio de toque, voz e gestos.
- **Opções de personalização:** As aplicações devem permitir que os alunos personalizem a interface de acordo com suas preferências.

**Engajamento:** As atividades das aplicações devem ser projetadas para promover o engajamento dos alunos e despertar seu interesse em aprender. Isso pode ser feito por meio de:

- **Atividades desafiadoras e gratificantes:** As atividades devem ser desafiadoras o suficiente para manter os alunos motivados, mas não tão desafiadoras que os frustrem.
- **Elementos de gamificação:** A gamificação pode ser usada para tornar as atividades mais divertidas e motivadoras.
- **Histórias e personagens envolventes:** As aplicações podem usar histórias e personagens envolventes para capturar a atenção dos alunos.

**Diversidade:** As aplicações devem reconhecer e valorizar a diversidade dos alunos, incluindo diferentes habilidades, culturas e experiências.

## Componentes relacionados à IA

Além dos requisitos funcionais e não funcionais, alguns componentes relacionados à inteligência artificial podem ser incorporados às aplicações para melhorar a experiência de aprendizagem dos alunos. Alguns desses componentes incluem:

- **Tradução de Texto para Fala:** Implementar algoritmos de tradução de texto para fala para tornar o conteúdo das aplicações acessível para alunos com deficiência visual.
- **Tradução de Fala para Texto:** Implementar algoritmos de tradução de fala para texto para permitir que os alunos gravem respostas verbais que são convertidas em texto.
- **Reconhecimento Facial, de Movimentos e de Gestos:** Implementar algoritmos de IA para reconhecimento facial, de movimentos e de gestos, permitindo que os alunos interajam naturalmente com as aplicações usando movimentos e expressões faciais.
- **Análise de Sentimento:** Implementar algoritmos de análise de sentimento para avaliar o engajamento e o bem-estar emocional dos alunos durante as atividades, permitindo aos professores ajustar suas abordagens de ensino conforme necessário.
- **Detecção de Emoções:** Implementar algoritmos de detecção de emoções para identificar sinais de frustração, tédio ou confusão nos alunos durante as atividades, permitindo uma intervenção oportuna por parte dos professores.

Esses requisitos e componentes garantirão que as aplicações na plataforma FrameLand para educação inclusiva ofereçam experiências de aprendizagem envolventes, adaptáveis e eficazes para todos os alunos, incluindo aqueles com necessidades especiais.

### 5.2.2

#### Os Requisitos e o Desenho Universal na Aprendizagem

Conforme informado na Seção 2.1.4, o Desenho Universal na Aprendizagem (DUA) é uma abordagem educacional que visa tornar o ambiente de aprendizagem acessível e inclusivo para todos os alunos, independentemente de suas habilidades, necessidades ou características individuais. Ao considerar os requisitos e componentes mencionados para as aplicações na plataforma

FrameLand para educação inclusiva, o DUA pode ser fundamental para alcançar esses objetivos. O DUA se enquadra nesses requisitos e componentes da seguinte forma:

- **Acessibilidade:** O DUA promove a criação de ambientes de aprendizagem acessíveis, onde múltiplas formas de representação, expressão e engajamento são incorporadas desde o início do processo de design. Isso inclui a consideração de diferentes modalidades de entrada e saída, como texto, áudio, vídeo e interação gestual, para garantir que todos os alunos possam participar das atividades educacionais.
- **Flexibilidade:** O DUA enfatiza a importância da flexibilidade no design curricular, permitindo que os alunos tenham múltiplas maneiras de acessar e demonstrar seu conhecimento. Isso se alinha com o requisito de adaptabilidade das aplicações, onde o conteúdo e as atividades podem ser personalizados para atender às necessidades individuais dos alunos.
- **Engajamento:** O DUA promove o engajamento dos alunos, oferecendo atividades desafiadoras e relevantes que despertem seu interesse e motivação para aprender. Isso se relaciona com o requisito de interatividade das aplicações, onde as atividades devem ser envolventes e estimulantes para manter o interesse dos alunos ao longo do tempo.
- **Feedback:** O DUA valoriza o feedback contínuo e formativo, fornecendo aos alunos informações oportunas sobre seu progresso e desempenho. Isso se alinha com o requisito de feedback das aplicações, onde os alunos devem receber feedback imediato e construtivo para ajudá-los a monitorar seu progresso e identificar áreas de melhoria.
- **Diversidade:** O DUA reconhece e valoriza a diversidade dos alunos, promovendo a inclusão de diferentes habilidades, culturas e experiências no processo de aprendizagem. Isso se relaciona com o requisito de integração de tecnologias das aplicações, onde diferentes tecnologias, como XR e ML, são integradas de forma a atender às diversas necessidades e preferências dos alunos.

Em suma, o Desenho Universal na Aprendizagem complementa e fortalece os requisitos e componentes das aplicações na plataforma FrameLand para educação inclusiva, garantindo que todos os alunos tenham acesso a experiências de aprendizagem significativas, engajadoras e eficazes.

### 5.2.3

#### Cenários da Plataforma FrameLand para Educação Inclusiva

Conforme apresentado na Seção 5.1, a plataforma FrameLand foi projetada para ser flexível e reutilizável, permitindo a criação de uma ampla variedade de cenários de acordo com a associação dos elementos oferecidos pela plataforma. A Tabela 5.5 apresenta alguns cenários específicos que podem ser explorados na instância da plataforma FrameLand para a educação inclusiva, com base nos requisitos e componentes identificados.

Tabela 5.5: Cenários disponíveis associados aos locais onde serão executadas as atividades sessões de fisioterapia

Cenário	Indicação	Observação
Com os elementos na mesma localização geográfica	Sala de recursos multifuncionais do NAPNE	O professor especialista em educação inclusiva e o aluno estarão presentes na sala de recursos multifuncionais do NAPNE.
Com os elementos em localização geográfica diferente	Ensino remoto	O professor que atende ao NAPNE pode estar na sala de recursos multifuncionais do NAPNE ou em sua residência, enquanto o aluno está em sua casa.
Com os elementos de processamento executados em um servidor	Sala de recursos multifuncionais do NAPNE e ensino remoto	A escola deverá possuir um servidor para acomodar o ambiente de serviços que poderá estar em uma rede local ou na nuvem.
Com os elementos de processamento executados em um servidor	Laboratórios de pesquisa em computação	Voltado aos pesquisadores que queiram testar e avaliar a eficácia de novos algoritmos de aprendizado de máquina, onde uma avaliação de caráter qualitativo poderá ser realizada com o auxílio de um professor especialista em educação inclusiva.

## 6

### Primeiro Ciclo: Concepção da Plataforma

#### 6.1

##### Imersão

##### 6.1.1

##### Identificação e Conscientização do Problema

Conforme mencionado na Seção 1.2, o incentivo para a criação da plataforma veio das oportunidades identificadas logo após a conclusão do projeto de pesquisa TensorPose(SILVA et al., 2019), onde foi desenvolvido um framework para a produção de aplicações interativas que fossem utilizar o algoritmo proposto no projeto. Ou seja, não havia um problema social específico a ser resolvido, mas sim uma oportunidade de criar uma plataforma com um conjunto de tecnologias e ferramentas com a finalidade de reduzir a complexidade da integração entre realidade estendida e algoritmos de aprendizado de máquina, bem como facilitar a geração e a disponibilização das aplicações que farão uso dessa integração.

Não possuir um problema social específico a ser resolvido não significa que a plataforma não possa ser útil para a sociedade. A plataforma pode ser útil para a sociedade ao facilitar a criação de aplicações que utilizem realidade estendida e algoritmos de aprendizado de máquina, o que pode ser útil para diversas áreas, como educação, saúde, entretenimento, entre outras.

Sendo assim, o problema a ser resolvido é tecnológico, visto que a integração entre realidade estendida e algoritmos de aprendizado de máquina é complexa e demanda conhecimento em diversas áreas, como visão computacional, processamento de imagens, processamento de sinais, aprendizado de máquina, desenvolvimento de aplicações, entre outras. Além disso, a geração e a disponibilização de aplicações que fazem uso dessa integração também é complexa e demanda conhecimento em diversas áreas, como desenvolvimento de aplicações, desenvolvimento de interfaces, desenvolvimento de sistemas, entre outras.

##### 6.1.2

##### Revisão Sistemática da Literatura

Neste ciclo, não foi realizada uma revisão sistemática da literatura, contudo, foi realizada uma revisão exploratória da literatura para identificar as tecnologias e ferramentas que poderiam ser utilizadas para a criação da

plataforma. A revisão exploratória foi feita por meio de pesquisas em bases de dados, como Google Scholar, IEEE Xplore, Scopus, entre outras, e em repositórios de código, como GitHub, GitLab, entre outros.

### **6.1.3**

#### **Identificação de artefatos e classes de problemas**

As tecnologias e ferramentas identificadas durante a revisão exploratória da literatura, estão listadas na Seção 5.1.4.3. A partir dessas tecnologias e ferramentas, foi possível identificar os artefatos e as classes de problemas que seriam abordados durante a concepção da plataforma. É importante ressaltar que a classe de problemas identificada foi a integração entre realidade estendida e algoritmos de aprendizado de máquina, e os artefatos identificados foram as tecnologias e ferramentas que seriam utilizadas para a criação da plataforma.

## **6.2**

### **Ideação**

#### **6.2.1**

##### **Proposição de artefatos de solução**

Uma vez que o artefato de solução já havia sido proposto no projeto de pesquisa, conforme mencionado na Capítulo 1, não foi necessário propor um novo artefato de solução. O artefato de solução proposto no projeto de pesquisa foi uma plataforma que facilitasse a criação de aplicações que fazem uso da realidade estendida e algoritmos de aprendizado de máquina, e que utilizasse tecnologias web e ferramentas que fossem de fácil acesso e de baixo custo.

#### **6.2.2**

##### **Projeto do artefato selecionado**

Os detalhes completos do projeto da plataforma estão disponíveis na Seção 5.1, onde são apresentados os aspectos fundamentais e a visão geral da arquitetura do artefato.

## **6.3**

### **Prototipação**

#### **6.3.1**

##### **Desenvolvimento do artefato**

O desenvolvimento do artefato foi realizado em duas etapas: a primeira para averiguação das tecnologias de realidade estendida e dos algoritmos de

aprendizado de máquina presentes na plataforma web, e a segunda para a implementação do protótipo da plataforma FrameLand.

A averiguação consistiu em analisar e testar as tecnologias de comunicação, realidade estendida e de algoritmos de aprendizado de máquina disponíveis para a plataforma web, onde foram criadas algumas aplicações com estas tecnologias, onde algumas foram implementadas na arquitetura cliente/servidor na forma de aplicações *Desktop* e outras foram executadas nos navegadores web a partir de computadores e smartphones. Com base nesta averiguação foi possível identificar quais destas tecnologias são as mais adequadas para a plataforma FrameLand, assim como realizar sua integração. Todos os detalhes desta etapa estão disponíveis no Apêndice A.

Após a averiguação, iniciou-se a implementação do protótipo da plataforma FrameLand, onde, a implementação ficou concentrada no ambiente de execução, visto que ele é o responsável por executar todas as aplicações desenvolvidas sobre a plataforma, conforme informado na Seção 5.1.4.1. Durante esta implementação, investigou-se a estimação de poses humanas e de pose das mãos, em que as inferências são realizadas diretamente no navegador, e a comunicação peer-to-peer entre os elementos de aquisição, processamento e visualização, além da criação de algumas aplicações de exemplo. A seguir são apresentadas as informações sobre a implementação do protótipo da plataforma FrameLand neste ciclo.

### **Core**

Conforme descrito na Seção 5.1.4.1, o componente central do ambiente de execução é o Core, que abriga o conjunto de subsistemas da plataforma. O Core consiste em diversos subsistemas, sendo cada um responsável por implementar funcionalidades essenciais para o ambiente de execução.

Devido à importância dos subsistemas RTC & Media e ML para a concepção de uma aplicação que utiliza comunicação em tempo real e algoritmos de aprendizado de máquina, nesta etapa, foram implementados os subsistemas: RTC & Media e ML.

A implementação do subsistema RTC & Media baseia-se na API WebRTC. Nesse subsistema, encontram-se os componentes que utilizam essa API para possibilitar a comunicação em tempo real entre os diversos elementos da plataforma. Ademais, o subsistema RTC & Media é responsável por gerenciar todos os recursos relacionados a vídeo e áudio, assegurando a qualidade e o funcionamento adequado desses elementos durante as interações em tempo real.

Como mencionado na Seção 5.1.4.3, o framework MediaPipe foi adotado

para ser utilizado no subsistema ML, devido à sua ampla gama de algoritmos de aprendizado de máquina. O gerenciador MediaPipe neste subsistema oferece uma integração eficiente dos algoritmos de estimação de poses e mãos na plataforma, possibilitando o uso das funcionalidades avançadas disponibilizadas pelo framework MediaPipe.

### Estrutura Base para Aplicações

A estrutura fundamental das aplicações consiste em um conjunto de componentes que oferecem a infraestrutura essencial para desenvolver aplicações que aproveitam os recursos disponibilizados pelo Core. Esta estrutura inclui uma variedade de componentes de UI, que são utilizados para a construção da interface com o usuário, bem como um conjunto de aplicações que fazem uso direto dos recursos oferecidos pelo Core, podendo servir como base para o desenvolvimento de novas soluções. Tais componentes são construídos utilizando o framework SvelteKit, enquanto as aplicações são desenvolvidas com base tanto no SvelteKit quanto no motor de renderização web Babylon.js.

Nesta etapa do desenvolvimento, foi dado foco à criação das aplicações representadas na Figura 6.1, acompanhadas pela concepção de componentes de interface do usuário (UI) passíveis de reutilização. Além disso, foi elaborado um cenário 3D básico utilizando a biblioteca Babylon.js. Essas aplicações desempenharam um papel fundamental ao permitir a avaliação minuciosa do desempenho e da integração dos elementos do ambiente de execução. As aplicações desenvolvidas abrangeram uma variedade de funcionalidades, com destaque para:

- **Hands:** Uma aplicação criada para explorar o módulo Hands do subsistema de Machine Learning (ML) e todos os componentes do subsistema RTC & Media. Esta aplicação foi projetada para realizar a estimação de poses das mãos em tempo real, aproveitando ao máximo os recursos disponíveis na plataforma.
- **Pose:** Outra aplicação desenvolvida durante esta fase, focada na utilização do módulo Pose do subsistema de ML e dos componentes do subsistema RTC & Media. A aplicação Pose foi concebida para realizar a estimação de poses humanas em tempo real, empregando os algoritmos disponíveis no framework MediaPipe e os recursos de comunicação em tempo real fornecidos pela plataforma.

Essas aplicações não apenas permitiram a validação do funcionamento e integração dos elementos do ambiente de execução, mas também serviram

como base para testes de desempenho e otimização, visando garantir uma experiência de usuário fluida e eficiente.

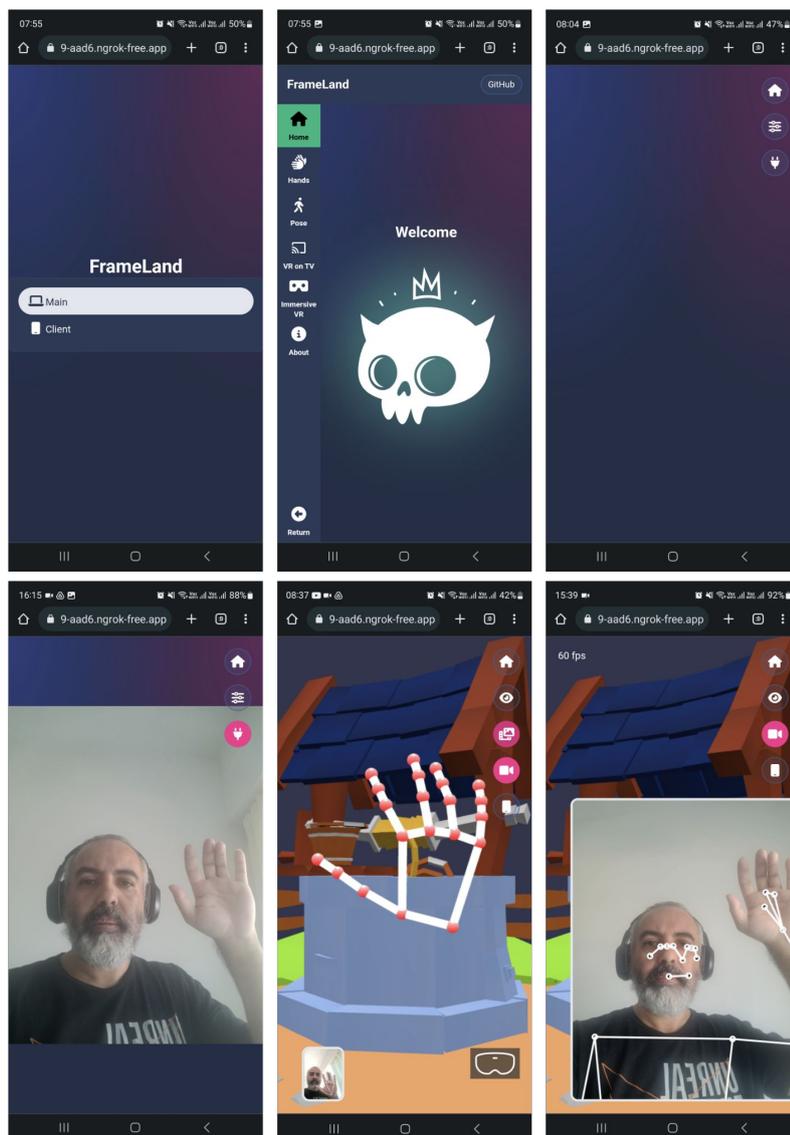


Figura 6.1: Primeiro protótipo da plataforma em execução no smartphone, onde, na primeira linha estão as UIs de entrada, da aplicação principal e aplicação de captura remota, respectivamente. Na segunda linha estão a captura remota em execução, a aplicação Hands e a aplicação Pose.

## 6.4 Avaliação

### 6.4.1 Avaliação do artefato

Devido a este ciclo não envolver usuários finais, a avaliação do artefato foi realizada por meio de testes de desempenho e de funcionalidades. A

especificação dos equipamentos utilizados durante os testes se encontram na Tabela 6.1. Para avaliar os componentes da plataforma, foram elaborados diversos cenários, os quais estão listados na Tabela 6.2, e são uma combinação dos cenários apresentados na Seção 5.1. Nesses cenários, todos os elementos da plataforma são executados no navegador, e os dispositivos utilizados estão na mesma localização geográfica, conectados à mesma rede.

Tabela 6.1: equipamentos utilizados para testar os cenários

Aquisição	Processamento Gráfico
Notebook	MacBook Air (13-inch, 2017) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Processador: Intel Core i5 1,8 GHz Dual-Core</li> <li>- Memória: 8 GB 1600 MHz DDR3</li> <li>- Gráfico: Intel HD Graphics 6000 1536 MB</li> <li>- OS: Monterey 12.6.5 (21G531)</li> </ul>
Smartphone	Samsung S20 FE 5G <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo: SM-G781B/DS</li> <li>- OS: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Android 13</li> <li>- Kernel 4.19.113-26205065</li> <li>- One UI 5.1</li> </ul> </li> </ul>
Tablet	Samsung Galaxy S6 Lite <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo: SM-P615</li> <li>- OS: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Android 13</li> <li>- Kernel 4.14.113-26026777</li> <li>- One UI 5.1</li> </ul> </li> </ul>
TV	Samsung The Frame 55
Chromecast	Google Chromecast 1st Gen <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo: NC2-6A5</li> <li>- System firmware: 275994</li> <li>- Cast firmware: 1.56.275994</li> </ul>
Access point	Vivo Box <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo: RTF3505VW-N2</li> <li>- Protocolo: 802.11g/n</li> </ul>

A análise de desempenho foi realizada com o objetivo de verificar o desempenho e a integração dos elementos de processamento gráfico e processamento da IA do ambiente de execução. Para isso, foram desenvolvidas algumas

aplicações de exemplo, que utilizam os algoritmos de estimação de poses humanas e de pose das mãos, em que as inferências são realizadas diretamente no navegador. A análise consistiu na verificação do número de quadros por segundo (fps ou frames per second) obtidos após a execução dos algoritmos em cada uma das suas configurações de precisão, disponibilizadas pelo modelo de aprendizado de máquina. A partir dessa análise, foi possível determinar quais algoritmos eram os mais apropriados para a plataforma proposta e em quais configurações eles deveriam ser executados.

A seguir, são apresentados os testes realizados e os resultados obtidos. Para a execução das aplicações, foi utilizado o navegador Google Chrome, versão 112, em todos os dispositivos testados, garantindo assim uma análise uniforme e consistente. O uso do Google Chrome como navegador padrão proporcionou uma base estável e confiável para a avaliação do desempenho das aplicações em diferentes cenários e dispositivos. Na Tabela 6.2, são apresentados os cenários de teste utilizados para avaliar o desempenho e a integração dos elementos do ambiente de execução. Como pode ser observado, o desempenho do processamento gráfico se manteve estável em todos os cenários, com uma média de 60 fps, enquanto o desempenho do processamento da IA variou de acordo com o equipamento utilizado. O ganho de desempenho foi observado ao executar a aplicação no smartphone, em comparação com o notebook, devido à GPU mais robusta do smartphone. Já as Figuras 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6 ilustram alguns dos cenários em execução mencionados na Tabela 6.2. Essas imagens oferecem uma representação visual dos diferentes contextos e configurações em que as aplicações foram testadas, proporcionando uma visão mais abrangente dos cenários de teste.

Tabela 6.2: Cenários testados, nos quais os elementos de aquisição, processamento e visualização são executados no navegador.

Cenário	Acquisição	Processamento Gráfico	Processamento da IA	Visualização	Observações
#1	Notebook	Notebook	Notebook	Notebook	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processamento gráfico em torno de 60 fps</li> <li>- Processamento da IA em torno de 10 fps</li> </ul>
#2	Notebook	Notebook	Notebook	TV (Mac wireless extended monitor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processamento gráfico em torno de 50 fps</li> <li>- Processamento da IA em torno de 4 fps</li> <li>- Tem um delay de menos de 1s para atualizar a imagem na TV</li> </ul>
Continua na próxima página					

Tabela 6.2 – Continuação da página anterior

Cenário	Acquisição	Processamento Gráfico	Processamento da IA	Visualização	Observações
#3	Notebook	Notebook	Notebook	TV Chromecast (tab cast)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processamento gráfico em torno de 50 fps</li> <li>- Processamento da IA em torno de 3 fps</li> <li>- Tem um delay de 1s para atualizar a imagem na TV</li> <li>- O tab cast somente funciona com o chromecast. Ele reconhece a TV Samsung e o Fire TV, mas informa que esses dispositivos somente estão disponíveis para receber o cast de específicos sites de vídeo</li> </ul>
Continua na próxima página					

Tabela 6.2 – Continuação da página anterior

Cenário	Acquisição	Processamento Gráfico	Processamento da IA	Visualização	Observações
#4	Notebook	Notebook	Notebook	TV HDMI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Devido a limitações do Notebook, a resolução teve que ser configurada para 720p</li> <li>- O processamento gráfico em torno de 60 fps</li> <li>- O processamento da IA em torno de 10 fps</li> </ul>
#5	Smartphone	Notebook	Notebook	Notebook	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processamento gráfico em torno de 60 fps</li> <li>- Processamento da IA em torno de 12 fps</li> <li>- O desempenho da IA neste cenário é melhor que o do cenário #1. Esta melhora pode estar relacionada ao navegador e sistema operacional não ter que tratar as interrupções de software e hardware.</li> </ul>
Continua na próxima página					

Tabela 6.2 – Continuação da página anterior

Cenário	Acquisição	Processamento Gráfico	Processamento da IA	Visualização	Observações
#6	Smartphone	Notebook	Notebook	TV (Mac wireless extended monitor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processamento gráfico em torno de 55 fps</li> <li>- Processamento da IA em torno de 5 fps</li> <li>- O desempenho da IA neste cenário é melhor do que o desenho do cenário #2. O motivo da melhora deve ser o mesmo descrito nas observações do cenário #5</li> </ul>
Continua na próxima página					

Tabela 6.2 – Continuação da página anterior

Cenário	Acquisição	Processamento Gráfico	Processamento da IA	Visualização	Observações
#7	Smartphone	Notebook	Notebook	TV Chromecast (tab cast)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processamento gráfico em torno de 55 fps</li> <li>- Processamento da IA em torno de 5 fps</li> <li>- O desempenho da IA neste cenário é melhor do que o desenho do cenário #3. O motivo da melhora deve ser o mesmo descrito nas observações do cenário #5</li> </ul>
#8	Smartphone	Notebook	Notebook	TV HDMI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processamento gráfico em torno de 60 fps</li> <li>- Processamento da IA em torno de 13 fps</li> <li>- Com a mesma limitação de resolução do cenário #4</li> </ul>
Continua na próxima página					

Tabela 6.2 – Continuação da página anterior

Cenário	Acquisição	Processamento Gráfico	Processamento da IA	Visualização	Observações
#9	Smartphone	Smartphone	Smartphone	Smartphone	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processamento gráfico em torno de 60 fps</li> <li>- Processamento da IA em torno de 15 fps</li> </ul>
#10	Smartphone	Smartphone	Smartphone	TV Mir- ror Screen (Smart View) do Samsung Smartthings	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processamento gráfico em torno de 60 fps</li> <li>- Processamento da IA em torno de 12 fps</li> <li>- O delay para atualizar a imagem na TV é imperceptível</li> </ul>
Continua na próxima página					

Tabela 6.2 – Continuação da página anterior

Cenário	Acquisição	Processamento Gráfico	Processamento da IA	Visualização	Observações
#11	Smartphone	Smartphone	Smartphone	TV Chromecast usando Cast my screen do Google Home	<ul style="list-style-type: none"><li>- Processamento gráfico em torno de 60 fps</li><li>- Processamento da IA em torno de 12 fps</li><li>- O delay para atualizar a imagem na TV é imperceptível</li></ul>



Figura 6.2: Cenário com os elementos aquisição, processamento e visualização sendo executados no notebook.



Figura 6.3: Cenário com o elemento de aquisição sendo executado no tablet e os elementos de processamento e visualização sendo executados no notebook.



Figura 6.4: Cenário com o elemento de aquisição sendo executado no notebook e os elementos de processamento e visualização sendo executados no smartphone.

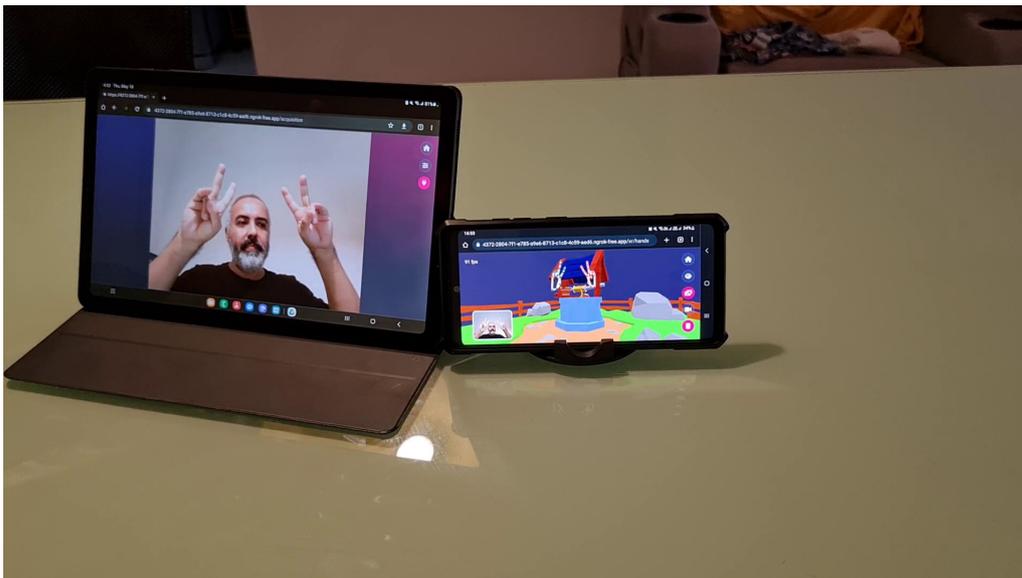


Figura 6.5: Cenário com o elemento de aquisição sendo executado no tablet e os elementos de processamento e visualização sendo executados no smartphone.

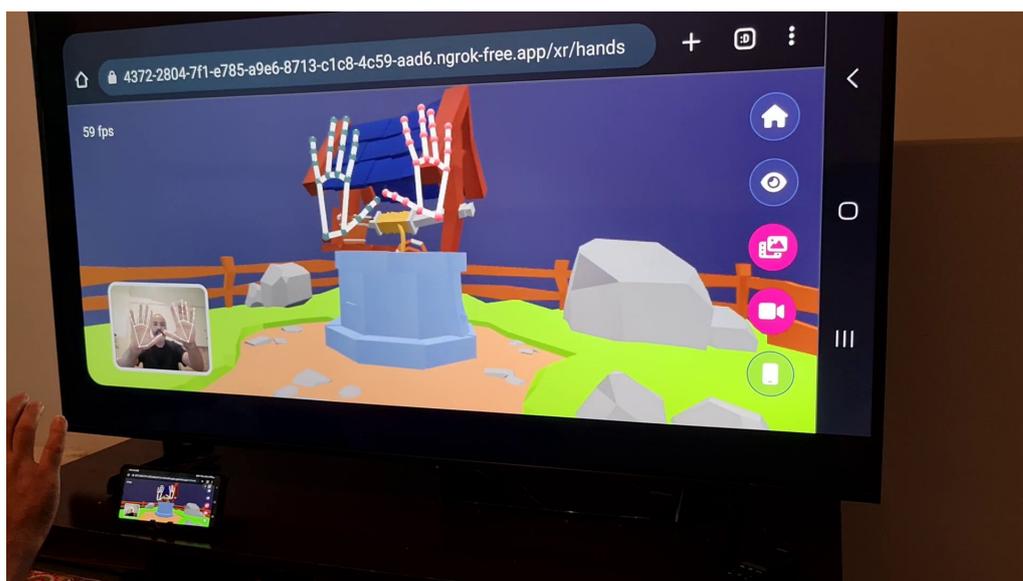


Figura 6.6: Cenário com os elementos de aquisição, processamento e visualização sendo executados no smartphone, além disso, a visualização também é visualizada na TV através do Mirror Screen (Smart View) do Samsung Smartthings.

Além dos testes anteriores, também foram conduzidos alguns testes com realidade virtual imersiva utilizando o headset Google Cardboard e uma extensão do Google Chrome para emular headsets. No entanto, esses testes não foram bem-sucedidos quando executados diretamente no smartphone, pois a inferência dos modelos de estimação de poses humanas deixou de funcionar quando a aplicação entrou no modo VR, conforme demonstrado na Figura 6.7. Enquanto isso, no emulador, esse problema não ocorreu, como evidenciado também na Figura 6.7. Adicionalmente, foi identificada uma limitação relacionada à inicialização dos componentes de XR do Babylon.js, que exigem que o engine seja executado na thread principal. Esse requisito ocasionou uma queda significativa no desempenho do processamento gráfico quando executado juntamente com os elementos de processamento de IA. Essas questões estão sob investigação e espera-se que sejam resolvidas em breve. É relevante notar que, em muitos contextos onde há crianças menores de 13 anos, como na educação, não é recomendado o uso de headsets para realidade virtual imersiva, de acordo com os fabricantes<sup>1</sup> destes dispositivos.

<sup>1</sup><https://www.meta.com/quest/safety-center/>

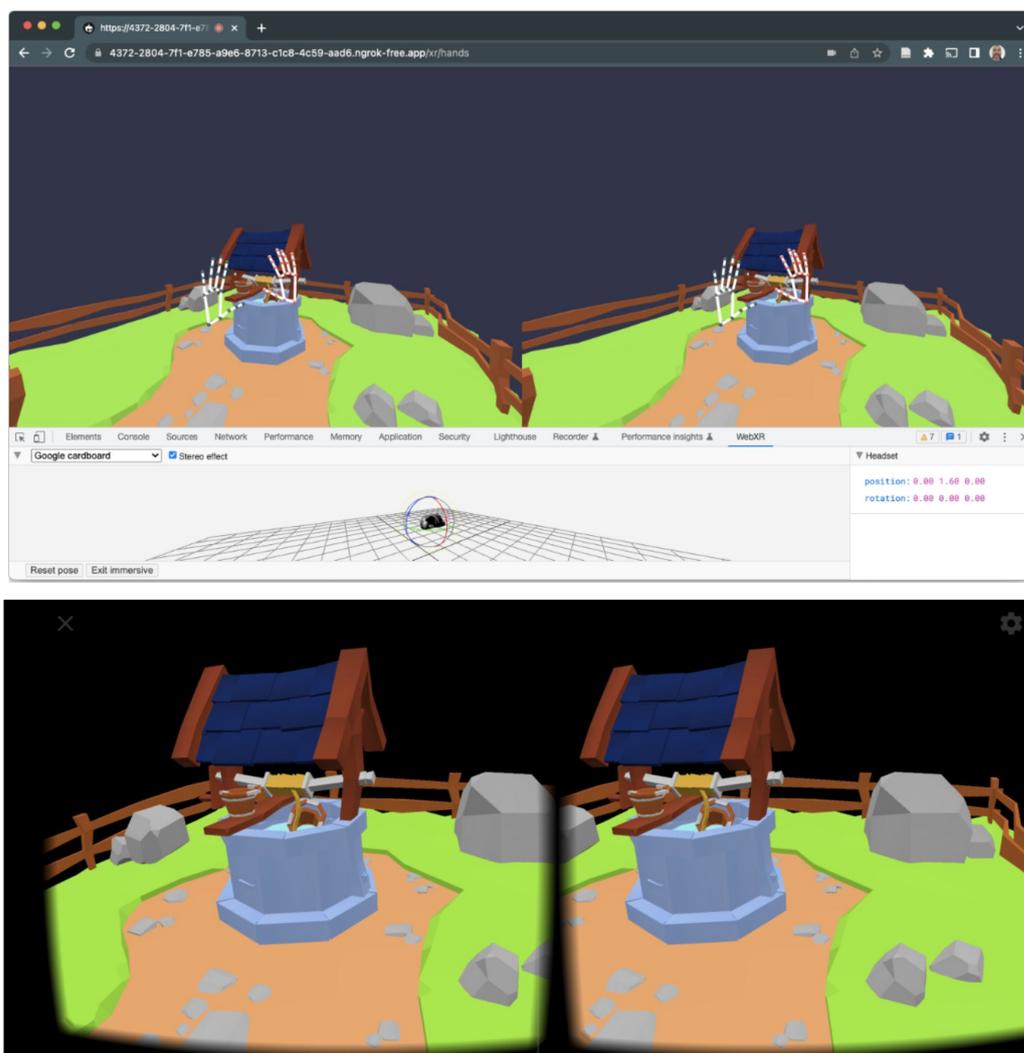


Figura 6.7: Aplicação Hands sendo executada no modo XR. Na parte acima, a aplicação está sendo executada sem problemas no emulador de XR do Google Chrome. Enquanto a parte de baixo mostra a aplicação sendo executada no smartphone com problemas na inferência.

## 6.5 Conclusões

### 6.5.1 Explicitação das aprendizagens

Durante o desenvolvimento do artefato, uma plataforma projetada para simplificar a integração entre realidade estendida e algoritmos de aprendizado de máquina, identificou-se que a complexidade dessa integração pode representar um desafio tecnológico significativo. A falta de um problema social específico a ser resolvido não diminui a utilidade potencial da plataforma, que pode ser aplicada em diversos setores, incluindo educação, saúde e entretenimento.

O problema a ser resolvido é predominantemente tecnológico, pois envolve a integração de diversas áreas de conhecimento, como visão computacional, processamento de imagens, aprendizado de máquina, comunicação em tempo real e desenvolvimento de aplicações.

### **6.5.2**

#### **Conclusões**

Os testes realizados revelaram que a implementação atual da plataforma apresenta um desempenho satisfatório em smartphones com hardware razoável, como o modelo utilizado nos testes. Esses resultados são significativos, pois evidenciam a viabilidade de utilizar dispositivos móveis amplamente disponíveis e acessíveis economicamente no contexto socioeconômico brasileiro. No entanto, é importante ressaltar que o desempenho do elemento de processamento de IA pode ser aprimorado com otimizações adicionais.

### **6.5.3**

#### **Generalização para uma classe de problemas**

A plataforma desenvolvida demonstrou sua capacidade de atender às demandas de cenários de uso variados, desde aplicações de entretenimento até soluções educacionais e de saúde. A utilização de smartphones como principal ambiente de execução se mostrou uma opção viável e acessível, enquanto dispositivos mais robustos, como notebooks, podem ser preferíveis em determinados contextos de aplicação. Essa flexibilidade proporciona uma ampla gama de possibilidades para a adoção e adaptação da plataforma em diferentes cenários e setores.

## 7

### **Segundo Ciclo: Instância da Plataforma na Educação Inclusiva**

#### 7.1

##### **Imersão**

##### 7.1.1

##### **Identificação e Conscientização do Problema**

Conforme mencionado nas Seções 1.1 e 2.1.1, a educação inclusiva é um tema relevante e desafiador, que visa garantir o acesso e a permanência de todos os alunos na escola, independentemente de suas necessidades específicas. No contexto da educação inclusiva, os professores desempenham um papel fundamental na identificação e no apoio aos alunos com necessidades especiais, como Transtorno do Espectro Autista (TEA) e Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH). No entanto, muitos professores enfrentam dificuldades em lidar com esses alunos, devido à carência de recursos e ferramentas específicas para apoiá-los em sala de aula.

Compreendendo essa necessidade, torna-se evidente a importância de desenvolver soluções inclusivas para apoiar os professores, principalmente nos primeiros anos do Ensino Fundamental I, uma vez que esse período é crucial para o desenvolvimento de habilidades fundamentais, como leitura, escrita e matemática. A falta de recursos e estratégias específicas para lidar com esses transtornos pode comprometer o progresso educacional e o bem-estar emocional dos alunos afetados.

A relevância em tratar essa falta de soluções inclusivas, reside na importância de garantir a igualdade de oportunidades educacionais para todos os alunos, independentemente de suas necessidades específicas. A implementação de soluções inclusivas não apenas melhora o acesso à educação, mas também promove um ambiente escolar mais acolhedor e empático, contribuindo para o desenvolvimento holístico de todos os alunos.

##### 7.1.2

##### **Revisão Sistemática da Literatura**

Conforme mencionado na Seção 1.1, a realidade estendida (XR) e os algoritmos de aprendizado de máquina (ML) têm sido empregados como ferramentas de apoio ao diagnóstico e tratamento de crianças com necessidades específicas, como crianças com TEA e TDAH. Com o intuito de identificar

trabalhos que promovam a Educação Inclusiva através da utilização de ML e XR na construção de ferramentas que auxiliem os professores no processo de ensino-aprendizagem de estudantes diagnosticados com TEA e TDAH dos primeiros anos do Ensino Fundamental, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, a qual está detalhada no Capítulo 3.

### **7.1.3**

#### **Identificação de artefatos e classes de problemas**

A RSL revelou a ausência de soluções, que através da integração das tecnologias de realidade estendida e algoritmos de aprendizado de máquina, atendam às necessidades dos professores dos estudantes dos primeiros anos do Ensino Fundamental I, diagnosticados com TEA e TDAH. Essa constatação destaca a relevância de desenvolver ferramentas específicas para esse cenário educacional inclusivo, visando oferecer suporte ao professor no desenvolvimento de atividades personalizadas e adaptadas às demandas dessas classes de alunos.

## **7.2**

### **Ideação**

#### **7.2.1**

##### **Proposição de artefatos de solução**

Considerando que a plataforma FrameLand foi desenvolvida com o propósito de integrar tecnologias, propõe-se a criação de uma instância específica voltada para a educação inclusiva. Essa instância terá como principal objetivo fornecer recursos, aplicações e ferramentas destinadas aos professores dos primeiros anos do Ensino Fundamental I, diagnosticados com TEA e TDAH. Por meio dessa instância, os professores poderão criar atividades lúdicas e interativas, utilizando as tecnologias de realidade estendida e algoritmos de aprendizado de máquina disponibilizados pela plataforma.

#### **7.2.2**

##### **Projeto do artefato selecionado**

Os detalhes sobre a instância da plataforma FrameLand para a educação inclusiva, bem como o papel da Professora Dr<sup>a</sup> Alexandra Alves da informática educativa do CPII na sua idealização, estão descritos na Seção 5.2, onde são apresentados os requisitos funcionais e não funcionais, os artefatos que compõem a instância, os cenários de uso e a relevância do Colégio Pedro II como aliado estratégico para a validação do projeto.

## 7.3

### Prototipação

#### 7.3.1

##### Desenvolvimento do artefato

O desenvolvimento da instância da plataforma FrameLand para a educação inclusiva foi dividido em duas etapas: na primeira, houve o aprimoramento da plataforma existente, com foco no desenvolvimento de novos componentes do Core. Na segunda etapa, concentrou-se no desenvolvimento das aplicações de atividades ludificadas e nas ferramentas de apoio ao desenvolvimento e às aplicações. A seguir, são apresentados os detalhes de cada etapa.

##### 7.3.1.1

###### Core: Novos Componentes

Os novos componentes integrados ao subsistema de ML do Core incluem a funcionalidade de Tradução de Texto para Fala (TTS) e Fala para Texto (STT) que é um componente essencial para uma interação mais natural e acessível por meio da comunicação por voz dos estudantes com as aplicações desenvolvidas sobre a plataforma, permitindo a conversão de texto em fala e vice-versa. Além disso, foi implementado o componente de Reconhecimento de Gestos com as Mãos (RGM), ampliando as possibilidades de interação com a plataforma, especialmente para estudantes que podem ter dificuldades com a comunicação tradicional. A seguir, são fornecidas as informações sobre cada um desses componentes.

###### **Tradução de Texto para Fala e Fala para Texto**

As informações apresentadas a seguir fornecem uma descrição detalhada do componente de comando de voz integrado à plataforma, focando em suas funcionalidades, aspectos técnicos e medidas de segurança.

###### **Funcionalidades**

O componente utiliza a Web Speech API<sup>1</sup>, uma interface de programação de aplicações que permite a integração de recursos de reconhecimento de voz (STT) e síntese de voz (TTS) em aplicações web. Através do TTS, o sistema converte texto em fala, possibilitando aos usuários navegar na plataforma e acessar informações de forma mais natural e intuitiva. Já o STT converte a fala do usuário em texto, permitindo a interação com a plataforma por meio de comandos de voz pré-definidos ou definidos dinamicamente.

<sup>1</sup>[https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web\\_Speech\\_API](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Speech_API)

### **Aspectos Técnicos**

- **Web Speech API:** A API utilizada é um padrão aberto suportado por diversos navegadores web modernos, como Chrome, Firefox e Edge.
- **Síntese de Voz (TTS):** A plataforma utiliza um motor TTS de alta qualidade que oferece vozes naturais e realistas em diversos idiomas.
- **Reconhecimento de Voz (STT):** O sistema STT empregado é capaz de reconhecer com alta precisão a fala do usuário, mesmo em ambientes ruidosos.

### **Futuro com a API**

No futuro, está previsto o desenvolvimento e a integração de um serviço interno de TTS e STT ao ambiente de serviços da plataforma. Essa iniciativa visa proporcionar aos usuários:

- **Maior flexibilidade e personalização:** Os usuários poderão escolher entre diferentes vozes e idiomas para o TTS, além de personalizar as configurações do STT.
- **Aprimoramento da segurança e da privacidade:** O desenvolvimento interno da API permitirá um controle mais granular sobre os dados de áudio, reforçando a segurança e a privacidade dos usuários.
- **Inovações e recursos avançados:** A integração de um serviço interno abrirá portas para a implementação de recursos inovadores e avançados de comando de voz na plataforma.

O componente de TTS e STT representa um passo significativo na experiência do usuário na plataforma, proporcionando uma interação mais natural, intuitiva e acessível. A plataforma está comprometida com o desenvolvimento contínuo dessa tecnologia, priorizando a segurança e a privacidade dos dados dos usuários, a fim de oferecer uma experiência de interação através da voz cada vez mais robusta e completa.

### **Reconhecimento de Gestos com as Mãos**

O componente de Reconhecimento de Gestos com as Mãos (RGM) implementado na plataforma oferece uma forma intuitiva de interação com as atividades lúdicas, complementando os métodos tradicionais de interação. Através da tecnologia de reconhecimento de gestos, o RGM permite que os usuários controlem e naveguem pelas atividades utilizando gestos simples feitos com as mãos em tempo real.

### **Funcionalidades**

- **Reconhecimento em Tempo Real:** O RGM utiliza a tecnologia MediaPipe Gesture Recognition Task para identificar e interpretar gestos das mãos em tempo real, proporcionando uma experiência interativa e dinâmica.
- **Controle e Navegação Intuitivos:** Os usuários podem controlar e navegar pelas atividades através de gestos simples e pré-definidos, como acenar e apontar. Essa interface natural e intuitiva torna a experiência mais envolvente e acessível para todos os usuários.
- **Acessibilidade Ampliada:** O RGM atende às necessidades de usuários com dificuldades de mobilidade ou que preferem métodos de entrada não convencionais, promovendo a inclusão e a acessibilidade na plataforma.

### **Benefícios**

- **Experiência Imersiva:** O RGM permite que os usuários se engajem nas atividades de forma mais profunda e imersiva, proporcionando uma experiência de aprendizado mais rica e significativa.
- **Interação Multimodal:** A combinação de gestos das mãos com outros métodos de interação, como toque e voz, amplia as possibilidades de interação e personalização.
- **Acessibilidade Aprimorada:** O RGM oferece uma alternativa aos métodos tradicionais de interação, tornando a plataforma mais acessível para todos os usuários.

### **Considerações Técnicas**

- **Tecnologia de Reconhecimento de Gestos:** O RGM utiliza a MediaPipe Gesture Recognition Task<sup>2</sup>, que implementa um modelo de aprendizado de máquina para detectar e classificar gestos feitos com as mãos em tempo real.
- **Requisitos de Hardware:** O RGM requer uma webcam ou outro dispositivo de captura de vídeo para funcionar. A qualidade da captura de vídeo pode afetar a precisão do reconhecimento de gestos.
- **Desenvolvimento de Atividades:** O RGM fornece uma API para que os desenvolvedores integrem a funcionalidade de reconhecimento de gestos em suas atividades ludificadas.

<sup>2</sup>[https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/gesture\\_recognizer](https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/gesture_recognizer)

O RGM é uma ferramenta poderosa que amplia as possibilidades de interação com as atividades ludificadas da plataforma. Ao oferecer uma experiência mais imersiva, intuitiva e acessível, o RGM contribui para o aprendizado e a inclusão de todos os usuários.

### 7.3.1.2

#### **Aplicações: Atividades Ludificadas e Interativas**

As atividades ludificadas apresentadas nessa seção, utilizam os novos componentes do Core, Reconhecimento de Gestos Manuais (RGM) e Tradução de Texto para Fala e Fala para Texto (TTS e STT), com o objetivo de proporcionar uma experiência de aprendizado interativa e inclusiva. Antes de descrever as atividades, serão apresentadas as características gerais das interações com as atividades, os recursos da plataforma utilizados e os dispositivos necessários para a aquisição e processamento dos dados.

#### **Interação com as Atividades**

A interação com as atividades ludificadas ocorre de forma fluida e intuitiva, seguindo os seguintes passos:

1. **Ativação do Reconhecimento de Voz:** O estudante levanta a mão e realiza um gesto de palma aberta para acionar o reconhecimento de voz. Contudo, a aplicação somente começa a receber o reconhecimento de gesto quando a imagem de um alto-falante está com o fundo cinza, a qual está na parte inferior da tela.
2. **Instruções Personalizadas:** O estudante recebe uma instrução em áudio que descreve a atividade a ser realizada. Essa instrução é gerada pelo módulo TTS e pode ser personalizada pelo professor.
  - **Feedback Visual:** Uma imagem com um alto-falante e fundo vermelho indica a reprodução da instrução. O estudante deve manter a mão aberta durante a reprodução.
  - **Transição para Resposta:** Ao término da instrução, a imagem do alto-falante muda para um fundo verde, indicando que o estudante pode falar.
3. **Resposta do Estudante:** O estudante pronuncia a palavra correspondente ao objeto ou cor que observa na cena.

#### 4. Feedback Personalizado:

- **Resposta Correta:** Um texto convertido em fala (TTS) parabeniza o estudante e uma animação sobre o objeto ou cor é exibida na tela.
- **Resposta Incorreta:** Um texto convertido em fala (TTS) informa que o objeto ou cor não foi reconhecido e solicita que o estudante tente novamente. O texto do feedback também pode ser personalizado pelo professor.

#### Características das Atividades

As atividades ludificadas visam proporcionar uma experiência educacional mais dinâmica e personalizada, destacando dois elementos fundamentais: Aprendizagem Autônoma e Personalização.

- **Aprendizagem Autônoma:** permite que o estudante assuma o controle de seu próprio processo de aprendizagem, oferecendo a liberdade de interagir com as atividades no seu próprio ritmo e de acordo com suas necessidades individuais. Essa abordagem promove uma maior independência e responsabilidade no aprendizado, permitindo que os alunos explorem os conteúdos de forma mais significativa.
- **Personalização:** é uma ferramenta poderosa que permite ao professor adaptar as atividades de acordo com as características e necessidades específicas de cada aluno. Ao acompanhar o progresso do estudante, o professor pode identificar áreas de dificuldade ou interesse e ajustar as atividades de acordo, oferecendo suporte individualizado para maximizar o aprendizado e o engajamento. Essa abordagem personalizada não apenas atende às diferentes habilidades e estilos de aprendizagem dos estudantes, mas também cria um ambiente de aprendizado mais inclusivo e eficaz.

#### Dispositivos para Aquisição e Processamento

Conforme mencionado na Seção 5.1, a plataforma FrameLand é composta por elementos de aquisição e processamento. O elemento de aquisição tem a função de capturar imagens, vídeos e áudios, enquanto o elemento de processamento executa os algoritmos de aprendizado de máquina necessários para o reconhecimento de gestos e a tradução de texto para fala e fala para texto. Esses elementos podem estar localizados no mesmo dispositivo ou em dispositivos diferentes, possibilitando a interação remota com as atividades.

### **Elemento de Aquisição:**

- Webcam integrada ou conectada a um computador ou notebook, a qual é detectada automaticamente pelo subsistema de RTC & Media do Core.
- Microfone integrado ou conectado a um computador ou notebook. Este dispositivo também é detectado automaticamente pelo subsistema de RTC & Media do Core.
- Smartphone utilizado como um dispositivo remoto de aquisição. O smartphone é conectado à plataforma por meio de um aplicativo de apoio construído com os recursos do subsistema RTC & Media, que faz uso da tecnologia WebRTC para capturar imagens, vídeos e áudios. O aplicativo é capaz de transmitir os dados capturados para a plataforma, permitindo a interação remota com as atividades. A Figura s7.1 apresenta uma captura de tela do smartphone lendo o QRCode gerado pela plataforma que permite a conexão com a aplicação de apoio, enquanto a Figura 7.2 exibe uma captura de tela do aplicativo de apoio enviando vídeo e a fala convertida em texto para a plataforma.

### **Elemento de Processamento:**

Para as atividades implementadas, o processamento pode ser realizado em diferentes dispositivos, oferecendo flexibilidade e adaptabilidade ao ambiente de aprendizado:

- **Computador ou Notebook:** Estes dispositivos podem ser empregados para executar os algoritmos de aprendizado de máquina necessários para o reconhecimento de gestos, além de realizar a tradução de texto para fala e vice-versa. A capacidade de processamento desses dispositivos os torna ideais para lidar com tarefas computacionalmente intensivas, garantindo um desempenho eficiente e preciso na execução das atividades.
- **Smartphone:** Os smartphones podem ser utilizados como dispositivos remotos de processamento, permitindo a execução dos algoritmos de aprendizado de máquina diretamente no dispositivo. A comunicação com a plataforma por meio de um aplicativo dedicado, o que possibilita uma interação fluida e intuitiva com as atividades. Essa abordagem distribuída de processamento oferece maior mobilidade e conveniência, permitindo que os estudantes realizem as atividades em qualquer lugar e a qualquer momento.

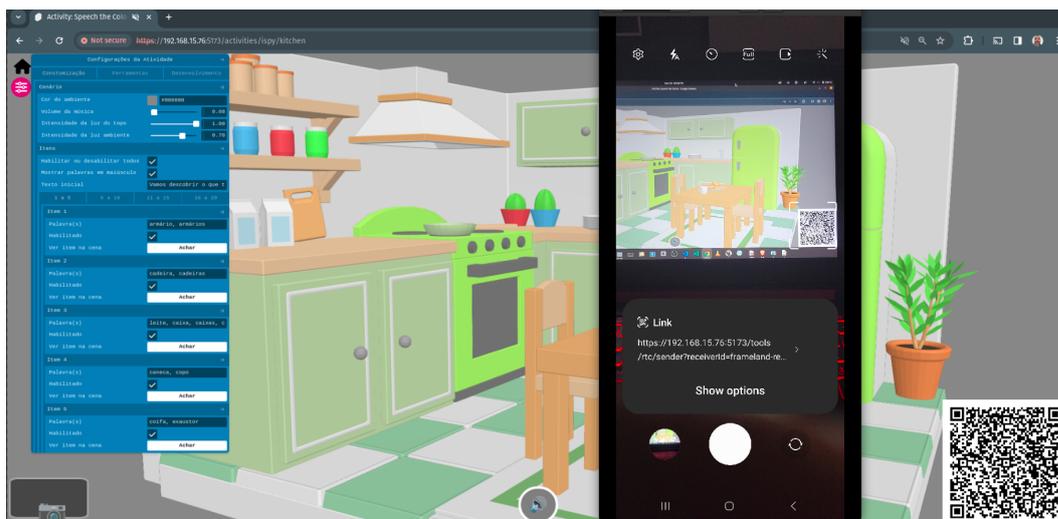


Figura 7.1: Dispositivo Remoto de Aquisição - Captura de tela do smartphone lendo o QRCode gerado pela plataforma que permite a conexão com a aplicação de apoio.

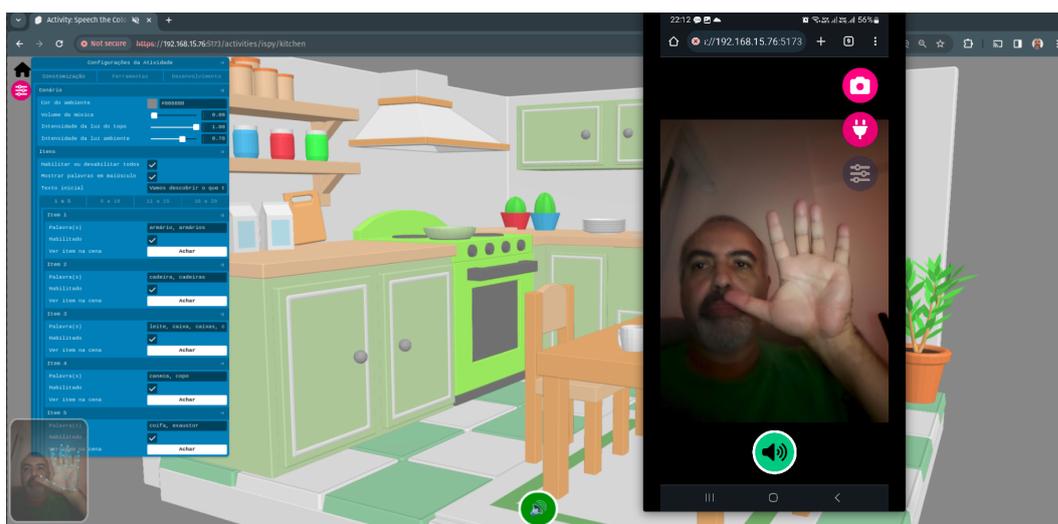


Figura 7.2: Dispositivo Remoto de Aquisição - Captura de tela do aplicativo de apoio em execução no smartphone enviando vídeo e a fala convertida em texto para a plataforma.

### Atividade: Qual o nome das cores?

Esta atividade utiliza as tecnologias de reconhecimento de fala, reconhecimento de gestos, síntese de fala, em um ambiente virtual dinâmico enriquecido com animações e sons. A proposta é trabalhar o reconhecimento e nomeação de cores, o desenvolvimento das habilidades de oralidade e escuta, a realização de pareamentos entre as cores e seus respectivos nomes, bem como o controle do momento adequado para a expressão verbal. Uma experiência interativa e imersiva que promove o aprendizado significativo e de qualidade, estimulando o

desenvolvimento cognitivo e linguístico. A Figura 7.3 apresenta uma captura de tela da atividade, exibindo a interface de personalização das cores dos objetos e quais palavras devem ser associadas a cada cor, além de um exemplo de interação com o reconhecimento de fala e gestos.

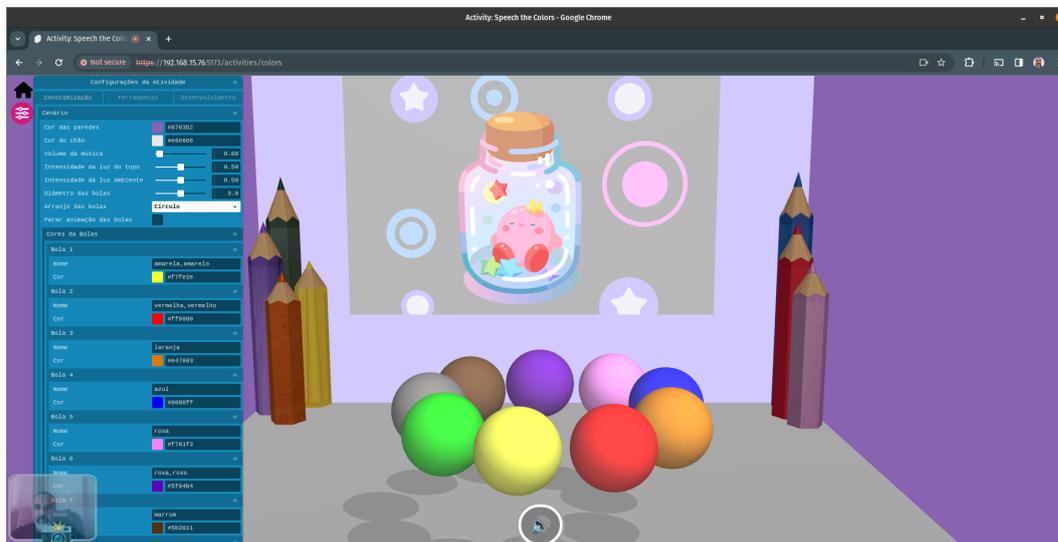


Figura 7.3: Atividade: Qual o nome das cores? - Captura de tela da atividade apresentando a interface de personalização das cores dos objetos e quais palavras devem ser associadas a cada cor.

### **Atividade: O que tem ...?**

Este conjunto de atividades incorpora tecnologias de reconhecimento de fala e gestos, síntese de fala, em um ambiente virtual dinâmico enriquecido com animações e sons. O objetivo é explorar o reconhecimento e nomeação de objetos em diferentes áreas da casa, compreendendo suas relações com cada cômodo. Além disso, busca-se aprimorar as habilidades de oralidade e escuta, realizar o pareamento entre objetos e seus respectivos nomes, e desenvolver o controle do timing adequado para a expressão verbal. Uma experiência interativa e imersiva que propicia aprendizado significativo e de alta qualidade, impulsionando o desenvolvimento cognitivo e linguístico.

### **O que tem no quarto?**

Esta atividade promove o desenvolvimento da linguagem, aprimora a atenção e concentração do aluno. Simultaneamente, estimula a memória ao identificar elementos que também estão presentes no quarto de sua casa e promove o conhecimento de novos elementos comuns ao espaço do quarto em outras casas. A Figura 7.4 apresenta uma captura de tela da atividade exibindo um exemplo de interação com o reconhecimento de fala e gestos, onde o objeto “cama” foi

identificado e selecionado, após realizada a ação da mão aberta e falada a palavra “cama”.

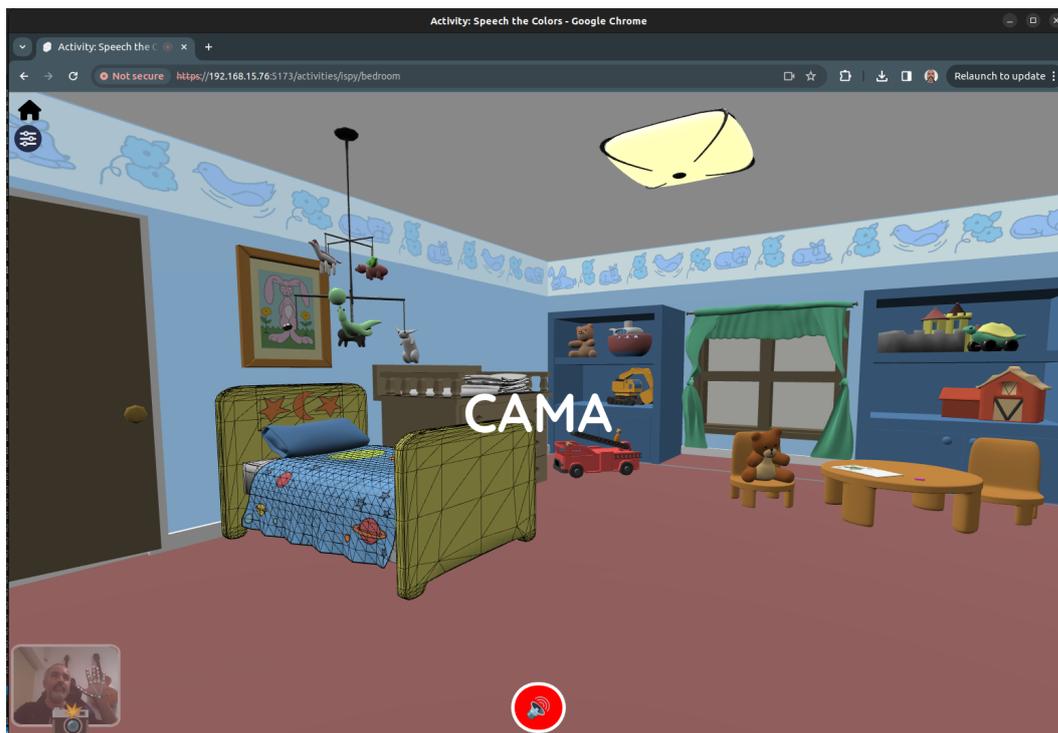


Figura 7.4: Atividade: O que no quarto? - Captura de tela da atividade apresentando um exemplo de interação com o reconhecimento de fala e gestos, onde o objeto “cama” foi identificado e selecionado.

### **O que tem na cozinha?**

Esta atividade promove o desenvolvimento da linguagem, aprimora a atenção e concentração do aluno. Simultaneamente, estimula a memória ao identificar elementos que também estão presentes na cozinha de sua casa e promove o conhecimento de novos elementos comuns ao espaço da cozinha em outras casas. A Figura 7.5 apresenta uma captura de tela da atividade, exibindo a interface de personalização dos objetos presentes na cozinha e quais palavras devem ser associadas a cada objeto.

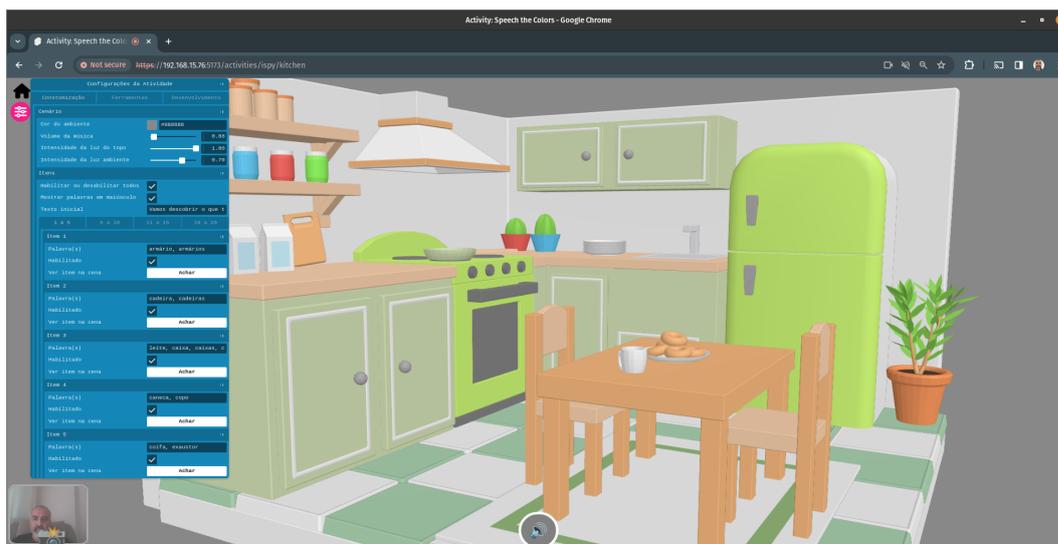


Figura 7.5: Atividade: O que tem na cozinha? - Captura de tela da atividade apresentando a interface de personalização dos objetos presentes na cozinha e quais palavras devem ser associadas a cada objeto.

### O que tem no banheiro?

Esta atividade promove o desenvolvimento da linguagem, aprimora a atenção e concentração do aluno. Simultaneamente, estimula a memória ao identificar elementos que também estão presentes no banheiro de sua casa e promove o conhecimento de novos elementos comuns ao espaço do banheiro em outras casas. A Figura 7.6 apresenta uma captura de tela da atividade, exibindo um exemplo de interação onde o objeto “privada” foi identificado e selecionado, após realizada a ação da mão aberta e falada a palavra “privada”.

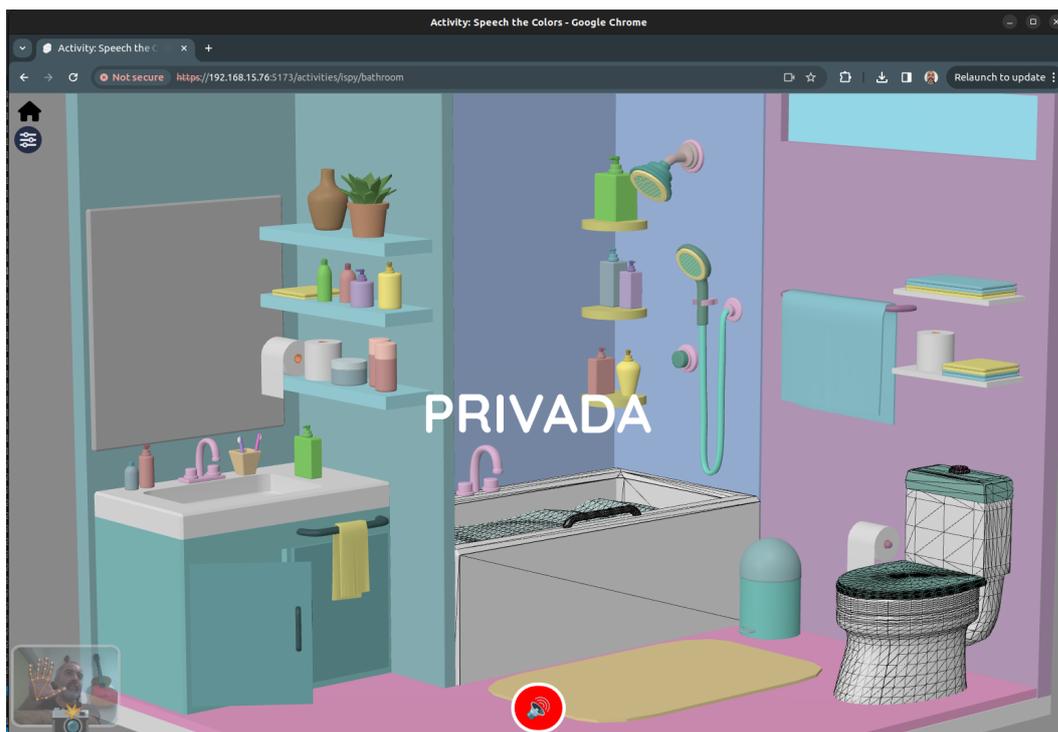


Figura 7.6: Atividade: O que tem no banheiro? - Captura de tela da atividade apresentando um exemplo de interação onde o objeto “privada” foi identificado e selecionado.

### 7.3.1.3

#### **Análise das Atividades Ludificadas sob a Ótica do DUA**

O Desenho Universal para Aprendizagem (DUA), apresentado em detalhes na Seção 2.1.4, visa criar ambientes de aprendizagem acessíveis e eficazes para todos os alunos, independentemente de suas habilidades ou características individuais. O DUA se baseia em três princípios:

1. **Fornecer múltiplas formas de representação:** As informações e instruções devem ser apresentadas de diferentes maneiras para atender às necessidades de diferentes estilos de aprendizagem.
2. **Fornecer múltiplas formas de ação e expressão:** Os alunos devem ter diferentes maneiras de interagir com o conteúdo e demonstrar o que aprenderam.
3. **Fornecer múltiplas formas de engajamento:** As atividades devem ser motivadoras e desafiadoras para todos os alunos, levando em consideração seus interesses e níveis de habilidades.

Nesta análise, o DUA é utilizado para avaliar as atividades lúdicas desenvolvidas, examinando como cada recurso se alinha aos três princípios.

## **Análise dos Recursos**

### **Cenários em 3D:**

- **Representação:** Os cenários em 3D oferecem uma experiência visual mais rica e realista, facilitando a compreensão de conceitos abstratos e relações espaciais.
- **Ação e Expressão:** Os alunos podem interagir com os objetos e personagens em 3D de diferentes maneiras, explorando o ambiente e construindo seu próprio conhecimento.
- **Engajamento:** Os cenários 3D podem aumentar o interesse e a motivação dos alunos, tornando a experiência de aprendizado mais dinâmica e divertida.

### **Animações:**

- **Representação:** As animações podem ser usadas para explicar conceitos abstratos, demonstrar processos e apresentar informações de forma mais dinâmica e visual.
- **Ação e Expressão:** As animações podem permitir que os alunos explorem o conteúdo em seu próprio ritmo, pausando e repetindo as animações conforme necessário.
- **Engajamento:** As animações podem tornar o conteúdo mais atraente e envolvente, capturando a atenção e sustentando o foco dos alunos, especialmente para aqueles com dificuldades de concentração.

### **Sons:**

- **Representação:** Os sons podem ser usados para fornecer informações adicionais sobre o ambiente e os objetos, criando uma experiência mais sensorial e imersiva.
- **Ação e Expressão:** Os alunos podem utilizar sons para interagir com o ambiente e expressar suas ideias de forma criativa.
- **Engajamento:** Os sons podem despertar maior interesse e motivação nos alunos, especialmente para aqueles que têm uma preferência pelo aprendizado auditivo.

### **Reconhecimento de Gestos:**

- **Ação e Expressão:** O reconhecimento de gestos oferece uma forma alternativa de interação com as atividades, complementando o uso de comandos de voz e mouse/teclado.
- **Engajamento:** O reconhecimento de gestos pode enriquecer significativamente a experiência de aprendizado, tornando-a mais interativa e envolvente, especialmente para alunos que aprendem melhor por meio de experiências práticas e movimento.

### **Tradução de Texto para Fala:**

- **Representação:** tradução de texto para fala pode ser utilizada para fornecer instruções e feedback de forma audível, tornando as atividades mais acessíveis para alunos com dificuldades de leitura ou dislexia.
- **Engajamento:** tradução de texto para fala tem o potencial de tornar o conteúdo mais cativante e dinâmico, principalmente para alunos que têm preferência pelo aprendizado auditivo.

### **A Tradução de Fala para Texto:**

- **Ação e Expressão:** A tradução de fala para texto oferece uma forma natural e intuitiva de interação com as atividades, principalmente para alunos com dificuldades motoras, de escrita ou digitação.
- **Engajamento:** A tradução de fala para texto pode tornar a experiência de aprendizado mais interativa e divertida, especialmente para alunos que preferem se expressar verbalmente.

As atividades ludificadas, ao incorporarem os princípios do DUA, demonstram o compromisso com a criação de um ambiente de aprendizado inclusivo e acessível. A combinação de recursos multissensoriais e interativos oferece aos alunos diferentes maneiras de aprender e se envolver com o conteúdo, atendendo às suas necessidades individuais e estilos de aprendizado.

### 7.3.2

#### Ferramentas de Apoio ao Desenvolvimento e as Aplicações

As ferramentas de apoio ao desenvolvimento desempenham um papel fundamental na criação de atividades interativas e ludificadas, agilizando processos e permitindo maior foco na qualidade das experiências oferecidas aos usuários. A seguir, são apresentadas duas ferramentas desenvolvidas para apoiar o desenvolvimento de atividades na instância da plataforma FrameLand para educação inclusiva.

#### 7.3.2.1

##### Gerador de Cenários Interativos a partir de Arquivos GLTF

A ferramenta de geração de cenários interativos a partir de arquivos GLTF foi desenvolvida para facilitar a criação de atividades do tipo “O que tem...?”, que envolvem a identificação e nomeação de objetos em um cenário virtual. A ferramenta automatiza o processo de configuração dos objetos 3D, permitindo que os professores personalizem as atividades de forma rápida e eficiente. A seguir, são apresentadas as características, o funcionamento e os benefícios da ferramenta, e na Figura 7.7 é exibido um diagrama de funcionamento da ferramenta.

##### **Funcionamento:**

- A ferramenta recebe um arquivo JSON de configuração da atividade, especificando detalhes como nome da atividade, recursos audiovisuais e o modelo 3D em formato GLTF.
- Identifica o nó especial "GLTF\_SceneRootNode" no modelo 3D, representando os objetos interativos na cena.
- Cria automaticamente entradas no menu de configuração da atividade para cada objeto identificado.
- Permite que o professor cadastre os nomes reconhecidos quando o aluno falar, simplificando o processo de personalização.

-

##### **Benefícios:**

- Agilidade na criação de configurações para cada objeto 3D.
- Simplificação do processo de desenvolvimento, sem exigir conhecimentos avançados em programação.
- Flexibilidade para criar uma variedade de atividades com diferentes temas e cenários.

### Origem dos Modelos 3D:

- Modelos GLTF obtidos do Sketchfab.
- Animações de personagens realizadas no Mixamo.
- Utilização do Blender para organização dos objetos e criação do nó “GLTF\_SceneRootNode”.

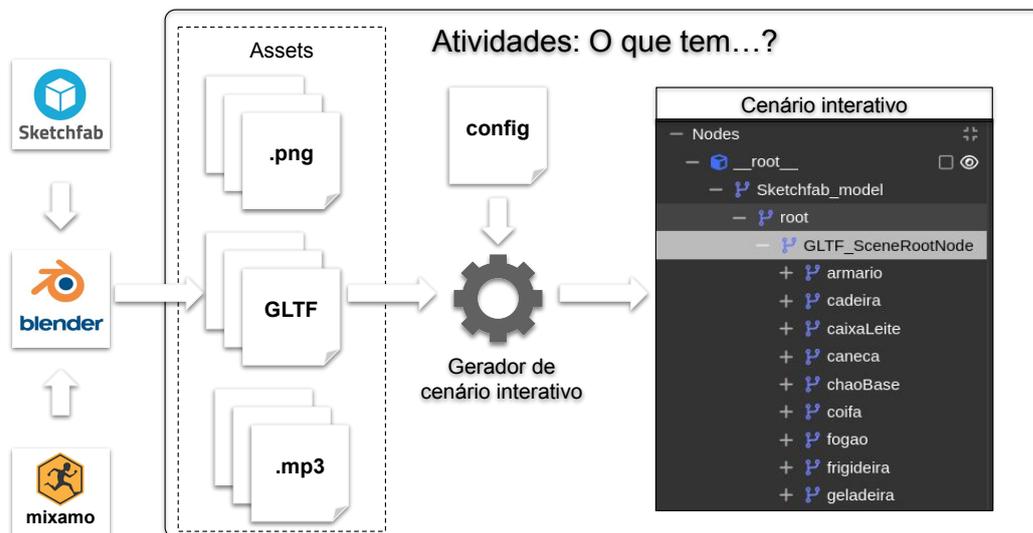


Figura 7.7: Gerador de Cenários Interativos a partir de Arquivos GLTF - Diagrama de funcionamento da ferramenta.

#### 7.3.2.2

### Customização do Inspector do Babylon.js

A customização do inspector do Babylon.js foi desenvolvida para facilitar a configuração de câmera, luz e objetos de cena sem a necessidade de codificação. A ferramenta oferece uma interface gráfica intuitiva que permite ajustar elementos da cena de forma precisa e eficiente, reduzindo o tempo gasto na configuração manual. A seguir, são apresentadas as funcionalidades, os benefícios e as características da ferramenta, e na Figura 7.8 é exibida uma captura de tela da interface do inspector customizado.

### Funcionalidades:

- Oferece uma interface gráfica intuitiva para ajustar elementos da cena.
- Permite configurações como posição, rotação, escala e outros parâmetros específicos para cada objeto.
- Facilita a configuração da câmera, luz e objetos, reduzindo o tempo gasto na configuração manual.
- Exporta as configurações realizadas para serem utilizadas nas atividades.

## Benefícios:

- Acessibilidade para desenvolvedores de diferentes níveis de habilidade.
- Eficiência na configuração dos elementos da cena.
- Precisão nos ajustes para criar uma experiência visual atraente e realista.

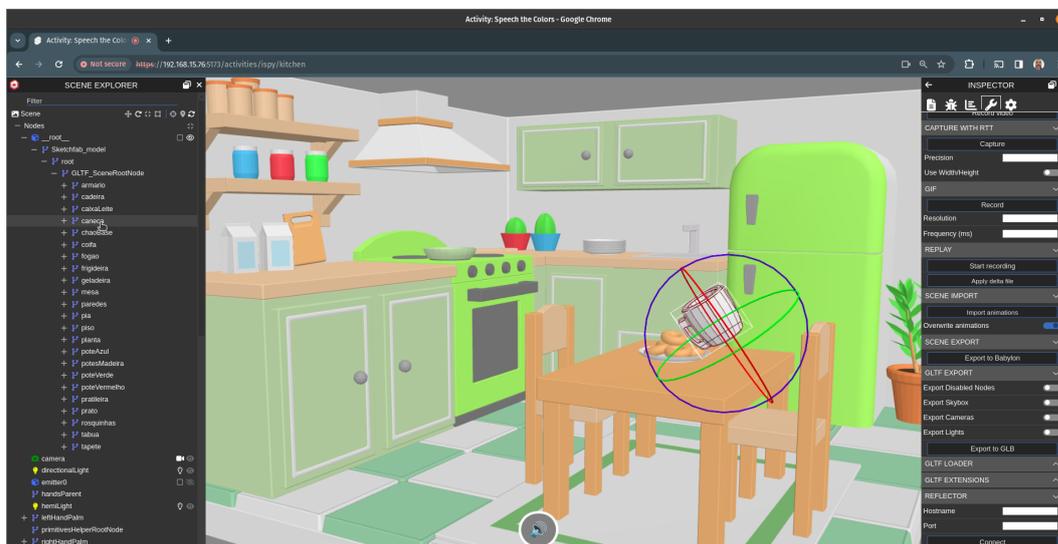


Figura 7.8: Customização do Inspector do Babylon.js - Captura de tela da interface do inspector customizado.

As ferramentas de apoio ao desenvolvimento demonstram o compromisso em tornar o processo de criação de atividades interativas e ludificadas mais eficiente e acessível. Ao automatizar tarefas e simplificar processos, essas ferramentas permitem que os desenvolvedores foquem na criação de experiências educacionais significativas e envolventes para os alunos.

## 7.4

### Avaliação

#### 7.4.1

##### Avaliação do artefato

Neste ciclo a avaliação do artefato foi realizada em duas etapas: a primeira etapa consistiu na avaliação do Core, com foco nos novos componentes de Reconhecimento de Gestos com as Mãos (RGM) e Tradução de Texto para Fala e Fala para Texto (TTS e STT). A segunda etapa concentrou-se na avaliação das aplicações de atividades ludificadas e interativas desenvolvidas sobre a plataforma, utilizando os novos componentes do Core. Os recursos utilizados

durante a avaliação estão especificados na Tabela 7.1. Logo em seguida, são apresentados os resultados obtidos em cada etapa da avaliação.

Tabela 7.1: Recursos usados na etapa de avaliação do segundo ciclo.

Recurso	Descrição
Notebook	<p>Acer Nitro AN515-51</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Processador: Intel® Core™ i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz × 8</li> <li>- Memória: 16 GB 2400 MHz DDR4</li> <li>- Disco rígido: 1TB SSD</li> <li>- Dispositivo gráfico: NVIDIA Corporation GP107M [GeForce GTX 1050 Ti Mobile] / NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti/PCIe/SSE2</li> <li>- Memória: 4GB</li> <li>- Driver Version: 545.29.02</li> <li>- CUDA Version: 12.3</li> <li>- Resolution: 1920x1080</li> <li>- OS: Pop!_OS 22.04 LTS</li> <li>- Arquitetura: 64 bits</li> <li>- Gnome: 42.9</li> <li>- Windowing System: X11</li> </ul>
Smartphone	<p>Samsung S20 FE 5G</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo: SM-G781B/DS</li> <li>- OS: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Android 13</li> <li>- Kernel 4.19.113-26205065</li> <li>- One UI 5.1</li> </ul> </li> </ul>
Navegador	Google Chrome 119.0.6045.159 (Official Build) (64-bit)
Áudio	Fone de ouvido wireless EDIFIER W600BT com microfone embutido
Continua na próxima página	

Tabela 7.1 – Continuação da página anterior

Recurso	Descrição
Rede	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rede wifi 5 GHz criada no smartphone Samsung S20 com o componente Hotspot 2.0</li> <li>- Rede de dados do smartphone que variava entre conexões 5G e 4G</li> </ul>

#### 7.4.1.1

##### Avaliação do Core

A avaliação do Core foi realizada por meio de testes de funcionalidade dos novos componentes de Reconhecimento de Gestos com as Mãos (RGM) e Tradução de Texto para Fala e Fala para Texto (TTS e STT).

Os testes de funcionalidade de componentes de uma aplicação ou sistema são parte integrante do processo de teste de software (MYERS; SANDLER; BADGETT, 2011). Eles se concentram na verificação das funções individuais ou componentes do sistema para garantir que eles estejam funcionando conforme o esperado. (MYERS; SANDLER; BADGETT, 2011) Esses testes são realizados em unidades específicas de código, módulos ou componentes isolados, em vez de testar o sistema como um todo.

Conforme apresentado por (MYERS; SANDLER; BADGETT, 2011) Os objetivos principais dos testes de funcionalidade de componentes são:

- **Verificar a funcionalidade correta:** Os testes garantem que cada componente realize suas funções de acordo com os requisitos especificados.
- **Identificar erros de implementação:** Esses testes ajudam a descobrir falhas no código do componente, como erros lógicos, erros de sintaxe, exceções não tratadas, entre outros.
- **Isolar problemas:** Ao testar componentes individualmente, é mais fácil identificar e isolar problemas específicos quando ocorrem, facilitando a depuração e correção.
- **Apoiar a manutenção:** Testes de funcionalidade bem elaborados servem como documentação viva do comportamento esperado de cada componente, o que é útil durante a manutenção do sistema.
- **Garantir integração adequada:** Testar os componentes individualmente antes da integração no sistema completo ajuda a garantir que

cada peça do sistema esteja funcionando conforme o esperado antes de serem combinadas.

- **Aumentar a confiabilidade do sistema:** Ao garantir que cada componente esteja funcionando corretamente, os testes de funcionalidade contribuem para a confiabilidade e estabilidade do sistema como um todo.

Esses testes podem ser realizados manualmente ou automatizados, dependendo da complexidade dos componentes e das necessidades do projeto (MYERS; SANDLER; BADGETT, 2011). Em muitos casos, os testes automatizados são preferidos por sua capacidade de repetição e escalabilidade. No entanto, os testes manuais também são úteis para cenários complexos ou interações humanas que não podem ser facilmente automatizadas, como o reconhecimento de gestos ou a síntese de fala.

Os testes de funcionalidade foram realizados com base nos requisitos e especificações dos componentes, verificando se cada funcionalidade foi implementada corretamente e se os resultados correspondiam às expectativas. Os testes incluíram cenários de uso típicos e excepcionais, bem como casos de teste específicos para validar o comportamento de cada componente em diferentes condições.

As Tabelas 7.2, 7.3 e 7.4 apresentam resumos dos testes de funcionalidade realizados para os componentes de Reconhecimento de Gestos com as Mãos (RGM), Tradução de Texto para Fala (TTS) e Tradução de Fala para Texto (STT), respectivamente, do Core.

Tabela 7.2: testes de funcionalidade realizados com o componente de Reconhecimento de Gestos com as Mãos

Teste	Resultado Esperado	Resultado Obtido
Teste de Reconhecimento de Gestos Básicos	O sistema deve reconhecer corretamente os gestos básicos enviados como entrada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestos: Deslizar para a esquerda, deslizar para a direita, deslizar para cima, deslizar para baixo.</li> <li>- Resultado: Todos os gestos foram reconhecidos corretamente pelo sistema.</li> </ul>
Teste de Precisão	O sistema deve reconhecer gestos específicos com alta precisão, mesmo sob variações nas condições.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestos: Saudação com a mão, sinal de positivo, sinal de paz.</li> <li>- Resultado: Todos os gestos foram reconhecidos com precisão de 95% ou mais, mesmo em condições de iluminação variáveis.</li> </ul>
Continua na próxima página		

Tabela 7.2 – Continuação da página anterior

<b>Teste</b>	<b>Resultado Esperado</b>	<b>Resultado Obtido</b>
Teste de Tempo de Resposta	O sistema deve reconhecer os gestos dentro de um tempo aceitável após sua execução.	Tempo Médio de Resposta: Pouco mais de 33 milissegundos (30 fps) para reconhecer um gesto após sua execução.
Teste de Robustez	O sistema deve ser capaz de reconhecer gestos mesmo em condições adversas.	Gestos realizados de forma rápida ou desajeitada devem ser reconhecidos com uma taxa de precisão de pelo menos 90%.
Teste de Integração com o Sistema Principal	O componente de reconhecimento de gestos deve integrar-se adequadamente ao sistema principal e acionar as ações corretas.	Ao utilizar gestos de palma da mão aberta e somente com o dedo indicado apontando para cima, em uma aplicação de uma atividade ludificada, os gestos foram reconhecidos corretamente e a aplicação entrou no estado de escuta, conforme esperado.
Teste de Desempenho em Tempo Real	O sistema deve manter um bom desempenho mesmo com o reconhecimento contínuo de gestos ao longo do tempo.	O sistema mantém uma taxa constante de reconhecimento de gestos, mantendo uma precisão de 90% ou mais, mesmo após 30 minutos de uso contínuo.

Tabela 7.3: testes de funcionalidade realizados com o componente de Conversão de Texto para Fala

Teste	Resultado Esperado	Resultado Obtido
Teste de Conversão de Texto para Fala Básico	O sistema deve converter o texto em fala de maneira precisa e compreensível.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Texto: “Olá, mundo! Este é um teste de conversão de texto para fala.”</li> <li>- Resultado: A saída de áudio pronunciou claramente texto fornecido.</li> </ul>
Teste de Controle de Voz	O sistema deve permitir o controle da velocidade, tom e volume da fala.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velocidade: Ajuste para lento, normal e rápido.</li> <li>- Tom: Ajuste para grave, médio e agudo.</li> <li>- Volume: Ajuste para baixo, normal e alto.</li> <li>- Resultado: A saída de áudio refletiu as configurações de controle de voz.</li> </ul>
Continua na próxima página		

Tabela 7.3 – Continuação da página anterior

Teste	Resultado Esperado	Resultado Obtido
Teste de Interação com Diferentes Idiomas	O sistema deve permitir o controle da velocidade, tom e volume da fala.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Texto em Inglês: “Hello, world! This is a text-to-speech test.”</li> <li>- Texto em Francês: “Bonjour tout le monde! Ceci est un test de synthèse vocale.”</li> <li>- Resultado: A saída de áudio foi clara e compreensível em cada idioma.</li> </ul>

Tabela 7.4: testes de funcionalidade realizados com o componente de Conversão de Fala para Texto

Teste	Resultado Esperado	Resultado Obtido
Teste de Reconhecimento de Fala Básico	O sistema deve transcrever a fala em texto com precisão.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fala: “Isso é um teste de reconhecimento de fala.”</li> <li>- Resultado: O texto resultante foi “Isso é um teste de reconhecimento de fala”.</li> </ul>
Teste de Reconhecimento em Ambientes Ruidosos	O sistema deve ser capaz de reconhecer e transcrever a fala mesmo em ambientes ruidosos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fala em Ambiente Ruidoso: “Texto de teste em um ambiente barulhento.”</li> <li>- Resultado: O texto resultante em diversos momentos foi claro e preciso, mesmo com ruídos de fundo.</li> </ul>
Continua na próxima página		

Tabela 7.4 – Continuação da página anterior

Teste	Resultado Esperado	Resultado Obtido
<p>Teste de Reconhecimento de Fala com Sotaques Diferentes</p>	<p>O sistema deve ser capaz de reconhecer e transcrever sotaques diferentes com precisão.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fala com Sotaque Carioca: “E aí, beleza? Como é que tá?”</li> <li>- Fala com Sotaque Gaúcho: “E aí, tchê, tudo bem contigo?”</li> <li>- Fala com Sotaque Paulista: “Bom dia, tudo bem contigo hoje?”</li> <li>- Resultado: O texto resultante refletiu com precisão as falas com cada sotaque.</li> </ul>

Os resultados dos testes de funcionalidade indicaram que os componentes do Core, Reconhecimento de Gestos com as Mãos e Tradução de Texto para Fala e Fala para Texto, foram implementados corretamente e funcionaram conforme o esperado. Os testes abrangeram uma variedade de cenários de uso e condições, incluindo diferentes gestos, palavras e frases, bem como diferentes idiomas e sotaques. Os resultados dos testes foram analisados e utilizados para identificar possíveis melhorias e ajustes nos componentes, visando aprimorar sua funcionalidade e eficácia.

#### **7.4.1.2**

##### **Avaliação das Aplicações das Atividades Ludificadas e Interativas**

A avaliação das aplicações ludificadas e interativas desenvolvidas para a plataforma de educação inclusiva ocorreu em dois momentos distintos. No primeiro momento, as aplicações foram apresentadas a duas professoras que atendem alunos do Núcleo de Apoio às Pessoas com Necessidades Educacionais Específicas (NAPNE) do Colégio Pedro II e a uma fonoaudióloga do NAPNE. Elas avaliaram a usabilidade e a adequação das atividades para o público-alvo. No segundo momento, durante a 1ª Semana de Ciência e Tecnologia do Colégio Pedro II (CPII, 2023), as aplicações foram apresentadas aos alunos, que interagiram com as atividades e forneceram feedback sobre sua experiência de uso. É importante ressaltar que a avaliação das aplicações foi idealizada e realizada em conjunto com a Professora Alexandra Alves do Departamento de Informática Educativa do Colégio Pedro II, que atua no NAPNE e é especialista em educação inclusiva. Os resultados obtidos em cada etapa da avaliação são detalhados a seguir.

##### **Avaliação com Professores e Fonoaudióloga do NAPNE**

As informações contidas na Tabela 7.5 apresentam um resumo dos principais pontos discutidos durante a avaliação com as professoras, uma do Ensino Fundamental II do CPII e outra do CREIR, e a fonoaudióloga do NAPNE do Colégio Pedro II da unidade de Realengo I. O objetivo era obter feedback sobre as aplicações das atividades ludificadas desenvolvidas para a plataforma de educação inclusiva.

Tabela 7.5: Avaliação dos professores e fonoaudióloga das aplicações das atividades ludificadas.

Participante	Apoio no NAPNE	Resumo da Conversa	Conclusões	Observações
<p>Professora Rosana</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Campus: Engenho Novo II</li> <li>- Data: 13/11/2023</li> <li>- Horário: 13:50h às 14:40h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trabalha com alunos do 5º ano do Ensino Fundamental.</li> <li>- Trabalha com alunos que possuem altas habilidades (“superdotados”) e alunos com problemas cognitivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apresentação da atividade “Qual o nome das cores?”.</li> <li>- Ocorrência de diversos problemas com a síntese de voz.</li> <li>- Atividade inadequada para os alunos atuais da professora, pois foi pensada para alunos do 1º e 2º anos do Ensino Fundamental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As atividades com reconhecimento de fala devem ser executadas individualmente.</li> <li>- A síntese de voz precisa passar por um ajuste fino de sua execução e configuração.</li> </ul>	
				Continua na próxima página

Tabela 7.5 – Continuação da página anterior

<b>Participante</b>	<b>Apoio no NAPNE</b>	<b>Resumo da Conversa</b>	<b>Conclusões</b>	<b>Observações</b>
Professora Liliana - CREIR (Educação Infantil) - Data: 16/11/2023 - Horário: 14:00h às 15:00h	- Crianças com altas habilidades. - Crianças com problemas cognitivos.	- Apresentação da atividade “Qual o nome das cores?”. - Concordância da professora com a proposta do projeto. - Reconhecimento da necessidade de direcionar o projeto para os seguintes grupos de crianças com TEA, TDAH, problemas cognitivos e em fase de alfabetização	- O projeto se encaixa bem para crianças em fase de alfabetização. - O projeto deve ser direcionado para os grupos de crianças mencionados acima.	Trabalha com crianças dos grupos G3, G4 e G5, com idades entre 3, 4 e 5 anos.
				Continua na próxima página

Tabela 7.5 – Continuação da página anterior

Participante	Apoio no NAPNE	Resumo da Conversa	Conclusões	Observações
<p>Rosana (Fonoaudióloga)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- NAPNE Realengo I</li> <li>- Data: 18/11/2023</li> <li>- Horário: 11:35h às 12:30h</li> </ul>	<p>Atende a todos os alunos do NAPNE</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apresentação das atividades “Qual o nome das cores?” e “O que tem na cozinha?”.</li> <li>- Preferência da fonoaudióloga pela atividade “O que tem na cozinha?”.</li> <li>- Sugestões de melhorias para ambas as atividades:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Painel de configuração da atividade “Qual o nome das cores?” precisa ser repensado para telas menores.</li> <li>- Implementar recursos para crianças que se comunicam por gestos.</li> <li>- Melhorar a mensagem de feedback para comandos de voz não reconhecidos como cores.</li> <li>- Coletar o maior número possível de dados durante o uso das atividades para geração de relatórios.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As atividades com reconhecimento de fala devem ser executadas individualmente.</li> <li>- Implementação de recursos para crianças que se comunicam por gestos.</li> <li>- A síntese de voz está melhor, mas ainda precisa de ajustes.</li> <li>- O projeto se mostrou interessante para o uso em fonoaudiologia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A fonoaudióloga testou as atividades em seu computador pessoal com bom desempenho (60 fps sem ML, 45-50 fps com ML).</li> <li>- Ela também testou em seu smartphone, as funcionalidades para captura de vídeo e reconhecimento de fala funcionou, mas com alguns problemas, como a dificuldade em entender o uso do smartphone para captura e processamento e o canvas do vídeo no desktop não mostrava a mão reconhecida.</li> </ul>

Os resultados da avaliação com as professoras e a fonoaudióloga indicaram que as aplicações das atividades ludificadas e interativas foram bem recebidas e consideradas adequadas para o público-alvo. As profissionais destacaram a importância dos recursos de reconhecimento de gestos e tradução de texto para fala e fala para texto, que facilitam a interação e a comunicação com os alunos. Elas também ressaltaram a relevância dos cenários em 3D, animações e sons, que tornam as atividades mais atrativas e envolventes. Os feedbacks e sugestões fornecidos pelas professoras e fonoaudióloga foram utilizados para aprimorar as aplicações e garantir que atendam às necessidades e expectativas do público-alvo.

### Avaliação com Alunos do Colégio Pedro II

As aplicações das atividades ludificadas e interativas foram apresentadas aos alunos durante a 1ª Semana de Ciência e Tecnologia do Colégio Pedro II (CPII, 2023), realizada em 28 de novembro de 2023. A Figura 7.9 mostra a instância da plataforma para educação inclusiva sendo apresentada e utilizada durante o evento.



Figura 7.9: Avaliação das Aplicações Ludificadas e Interativas para Educação Inclusiva - Instância da plataforma sendo utilizada por alunos durante a 1ª Semana de Ciência e Tecnologia do Colégio Pedro II.

O objetivo desta avaliação era analisar o comportamento das aplicações em um contexto real com alunos do ensino fundamental, coletando feedback e insights valiosos para o aprimoramento contínuo do projeto. A seguir, são apresentados os principais resultados e conclusões da avaliação com os alunos do Colégio Pedro II.

### **Contexto da Avaliação**

- **Data:** 28 de novembro de 2023
- **Local:** Dependências da Propppec (Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura) em São Cristóvão
- **Evento:** 1ª Semana de Ciência e Tecnologia do Colégio Pedro II
- **Público:** Alunos e alunas do Colégio Pedro II, com a maioria pertencente ao Ensino Fundamental I e II

### **Observações Relevantes**

- Apesar de aberta ao público, a feira teve como principal público os alunos do Colégio Pedro II.
- Os alunos demonstraram conhecimento sobre o NAPNE e os tipos de alunos que ele atende, facilitando a compreensão do potencial das aplicações para auxiliar nesse público.

### **Descrição das Atividades Apresentadas**

- **Biblioteca de atividades do FrameLand:**
  - “Qual o nome das cores?”
  - Atividades do tipo “O que tem...?”:
    - \* “O que tem no quarto?”
    - \* “O que tem na cozinha?”
    - \* “O que tem no banheiro?”
- **Atividade mais testada:** “O que tem na cozinha?”

### **Comportamento da Aplicação**

- **Atividades “O que tem...?”:** Mais robustas e com melhor desempenho em comparação com “Qual o nome das cores?”.

- **Dependência de recursos online:** A aplicação dependia dos recursos de reconhecimento de fala e síntese de voz do navegador, exigindo conexão à internet.
- **Falhas no reconhecimento de fala:** O acesso aos recursos de reconhecimento de fala falhou em alguns momentos devido à instabilidade da conexão de dados do smartphone.

### **Participação e Feedback dos Alunos**

- **Número de participantes:** 15 alunos do Ensino Fundamental I e II
- **Reação geral:** Os alunos expressaram ter gostado da experiência, mesmo não sendo o público-alvo das atividades.
- **Desafios:** Alguns alunos enfrentaram dificuldades em fazer com que a aplicação reconhecesse suas falas, possivelmente devido à velocidade da fala.
- **Aspectos apreciados:**
  - Reconhecimento de gestos
  - Interação falada
  - Músicas de fundo
  - Efeitos sonoros
  - Gráficos e efeitos visuais

### **Conclusões e Recomendações**

- **Necessidade de uma atividade introdutória:** A inclusão de uma atividade que explique a mecânica de interação das aplicações pode minimizar a necessidade de instruções verbais e facilitar o uso por alunos com diferentes perfis.
- **Aprimoramento da interface:** Aumentar o tamanho da imagem indicadora de fala e considerar a criação de modos de apresentação otimizados para diferentes tamanhos de tela.
- **Eficácia em sala de aula:** A avaliação em um ambiente real com os alunos testados não foi conclusiva. No entanto, o interesse demonstrado durante a feira indica o potencial das aplicações para o ensino.
- **Divulgação e engajamento:** O uso das aplicações em eventos como a feira de ciência pode ser uma estratégia eficaz para divulgar o trabalho e despertar o interesse da comunidade escolar.

## **Considerações Finais**

A avaliação das aplicações na 1ª Semana de Ciência e Tecnologia do Colégio Pedro II forneceu insights valiosos sobre seu desempenho em um contexto real com alunos do ensino fundamental. As informações coletadas servirão como base para o aprimoramento contínuo das aplicações, com foco em melhorar a usabilidade, a acessibilidade e o potencial de engajamento em diferentes contextos educacionais.

## **Próximos Passos**

- Implementar as sugestões de melhorias e adaptações levantadas na avaliação.
- Realizar avaliações com os professores e com o público-alvo das atividades.
- Ampliar a biblioteca de atividades disponíveis na plataforma.

## **7.5**

### **Conclusões**

#### **7.5.1**

##### **Explicitação das aprendizagens**

No contexto da educação inclusiva, os professores desempenham um papel fundamental na identificação e apoio aos alunos com necessidades especiais, como Transtorno do Espectro Autista e Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade. Muitos enfrentam dificuldades devido à falta de recursos e ferramentas específicas para apoiá-los. Compreendendo essa necessidade, torna-se evidente a importância de desenvolver soluções inclusivas para apoiar os professores, principalmente nos primeiros anos do Ensino Fundamental I, onde a falta de recursos específicos pode comprometer o progresso educacional e o bem-estar emocional dos alunos afetados.

A Revisão Sistemática da Literatura revelou a ausência de soluções que atendam às necessidades dos professores e alunos desses anos iniciais, diagnosticados com TEA e TDAH. Isso destaca a relevância de desenvolver ferramentas específicas para esse cenário educacional inclusivo, visando oferecer suporte ao professor no desenvolvimento de atividades personalizadas e adaptadas às demandas dessas classes de alunos.

### **7.5.2**

#### **Conclusões**

As conclusões e recomendações são derivadas dos resultados da avaliação das atividades ludificadas. Durante este processo, identificou-se a necessidade de incorporar uma atividade introdutória, visando a redução da dependência de instruções verbais, assim como aprimorar a interface para melhorar a usabilidade em diferentes dispositivos. Embora a evidência de eficácia em sala de aula não tenha sido realizada, o interesse manifestado durante a feira de ciência sugere o potencial das aplicações para o ensino. A avaliação realizada durante a 1ª Semana de Ciência e Tecnologia do Colégio Pedro II proporcionou insights valiosos sobre o desempenho das atividades em um ambiente real, oferecendo uma base sólida para futuros aprimoramentos.

Adicionalmente, os professores destacaram, em sua avaliação, a importância e eficácia dos novos componentes do Core, como o Reconhecimento de Gestos com as Mãos e a Tradução de Texto para Fala e Fala para Texto, na concepção de atividades ludificadas e interativas. Esses componentes revelaram-se fundamentais para facilitar a interação e comunicação com os alunos, contribuindo significativamente para um ambiente de aprendizado mais inclusivo e dinâmico.

### **7.5.3**

#### **Generalização para uma classe de problemas**

A identificação de artefatos e classes de problemas levou à criação da instância da plataforma FrameLand para a educação inclusiva, destinada a fornecer recursos, aplicações e ferramentas aos professores dos alunos dos primeiros anos do Ensino Fundamental I, diagnosticados com TEA e TDAH. Essa instância representa a generalização do artefato para atender às necessidades específicas desse cenário educacional inclusivo, permitindo que o conhecimento gerado seja aplicado em outras situações similares enfrentadas por diversas organizações.

## **8**

### **Terceiro Ciclo: Elaboração e Avaliação de Novas Aplicações**

#### **8.1**

##### **Imersão**

##### **8.1.1**

###### **Identificação e Conscientização do Problema**

Visto que este ciclo é uma continuação do ciclo anterior, esta etapa não é necessária.

##### **8.1.2**

###### **Revisão Sistemática da Literatura**

A RSL é a mesma do ciclo anterior, não sendo necessária uma nova revisão.

##### **8.1.3**

###### **Identificação de artefatos e classes de problemas**

A identificação de artefatos e classes de problemas são as mesmas do ciclo anterior, não sendo necessária uma nova identificação.

#### **8.2**

##### **Ideação**

##### **8.2.1**

###### **Proposição de artefatos de solução**

Devido à continuidade do ciclo anterior, a proposta de artefatos de solução é a mesma, não sendo necessária uma nova proposta.

##### **8.2.2**

###### **Projeto do artefato selecionado**

Como o projeto do artefato selecionado é uma continuação do ciclo anterior, não é necessário iniciar um novo projeto. No entanto, neste ciclo, além de dar continuidade ao desenvolvimento da instância da plataforma para a educação inclusiva, novos componentes serão integrados ao Core, tais como reconhecimento de movimentos corporais e de faces. Além disso, serão introduzidas novas ferramentas de apoio ao desenvolvimento. Serão corrigidos os problemas encontrados durante a avaliação do artefato no ciclo anterior.

Por fim, serão desenvolvidas novas aplicações, incluindo atividades ludificadas e interativas. Portanto, neste ciclo, o foco estará tanto na melhoria contínua do artefato selecionado quanto na expansão de suas funcionalidades.

## 8.3 Prototipação

### 8.3.1 Desenvolvimento do artefato

#### 8.3.1.1 Core: Novos Componentes

Os novos componentes integrados ao subsistema de ML do Core incluem funcionalidades de Reconhecimento de Faces (RF) e Reconhecimento de Movimentos do Corpo (RMC), que são essenciais para uma interação mais natural por meio dos movimentos dos estudantes com as aplicações desenvolvidas sobre a plataforma. O Reconhecimento de Faces permite a identificação de elementos da face, enquanto o Reconhecimento de Movimentos do Corpo amplia as possibilidades de interação, especialmente para estudantes que podem ter dificuldades com a comunicação tradicional. A seguir, são fornecidas informações detalhadas sobre cada um desses componentes.

#### **Reconhecimento de Movimentos do Corpo (RMC)**

O componente de Reconhecimento de Movimentos do Corpo (RMC) implementado na plataforma oferece uma forma intuitiva de interação com as atividades ludificadas, complementando os métodos tradicionais de interação. Através da tecnologia de reconhecimento de movimentos, o RMC permite que os estudantes controlem e naveguem pelas atividades utilizando seus movimentos corporais em tempo real.

#### **Funcionalidades**

- **Reconhecimento em Tempo Real:** O RMC utiliza a tecnologia MediaPipe Pose Landmark Task<sup>1</sup> para identificar e interpretar os movimentos do corpo em tempo real, proporcionando uma experiência interativa e dinâmica.
- **Opções de Modelos:** Além da MediaPipe Pose Landmark Task, é possível utilizar os modelos MoveNet e BlazePose fornecidos no repositório

<sup>1</sup>[https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/pose\\_landmarker](https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/pose_landmarker)

do biblioteca TensorFlow.js<sup>2</sup>, oferecendo flexibilidade e desempenho otimizado para diferentes cenários de uso.

- **Controle e Navegação Intuitivos:** Os estudantes podem controlar e navegar pelas atividades através de seus movimentos corporais, como gestos de braços e pernas. Essa interface natural e intuitiva torna a experiência mais envolvente e acessível para todos os estudantes.

### Benefícios

- **Experiência Imersiva:** O RMC permite que os estudantes se engajem nas atividades de forma mais profunda e imersiva, proporcionando uma experiência de aprendizado mais rica e significativa.
- **Interação Multimodal:** A combinação de reconhecimento de movimentos do corpo com outros métodos de interação, como voz e toque, amplia as possibilidades de interação e personalização.
- **Acessibilidade Aprimorada:** O RMC oferece uma alternativa aos métodos tradicionais de interação, tornando a plataforma mais acessível para todos os estudantes, especialmente aqueles com dificuldades motoras.

### Considerações Técnicas

- **Tecnologia de Reconhecimento de Movimentos:** O RMC utiliza a MediaPipe Pose Landmark Task, assim como os modelos MoveNet e BlazePose com TensorFlow.js, para detectar e interpretar os movimentos corporais em tempo real.
- **Requisitos de Hardware:** O RMC requer uma webcam ou outro dispositivo de captura de vídeo para funcionar. A qualidade da captura de vídeo pode afetar a precisão do reconhecimento de movimentos.
- **Desenvolvimento de Atividades:** O RMC fornece uma API para que os desenvolvedores integrem a funcionalidade de reconhecimento de movimentos em suas atividades ludificadas.

O RMC é uma ferramenta poderosa que amplia as possibilidades de interação com as atividades ludificadas da plataforma. Ao oferecer uma experiência mais imersiva, intuitiva e acessível, o RMC contribui para o aprendizado e a inclusão de todos os estudantes.

<sup>2</sup><https://github.com/tensorflow/tfjs-models/tree/master/pose-detection/>

## Reconhecimento de Faces (RF)

O componente de Reconhecimento de Faces (RF) implementado na plataforma oferece uma maneira eficaz de promover uma experiência mais personalizada e interativa para os estudantes. Através da tecnologia de reconhecimento facial, o RF permite a detecção e análise de faces em tempo real, proporcionando uma variedade de funcionalidades úteis para as atividades ludificadas, especialmente para estudantes com problemas motores.

### Funcionalidades

- **Detecção em Tempo Real:** O RF utiliza a tecnologia MediaPipe Face Detection Task<sup>3</sup> para identificar e localizar faces em imagens ou vídeos em tempo real, permitindo uma resposta rápida e eficaz.
- **Análise de Pontos Faciais:** Além da detecção de faces, é possível utilizar a MediaPipe Face Landmark Task<sup>4</sup> para identificar e analisar os pontos faciais, como olhos, nariz e boca, oferecendo uma gama de possibilidades para personalização e interação.
- **Controle de Personagens e Interatividade:** O RF possibilita o controle de personagens ou a interação com elementos da interface por meio do movimento facial, proporcionando uma experiência de aprendizado mais envolvente e inclusiva para estudantes com dificuldades motoras.

### Benefícios

- **Personalização da Experiência:** A análise dos pontos faciais permite uma personalização mais precisa da experiência do usuário, adaptando o conteúdo e as interações de acordo com suas características faciais e movimentos.
- **Acessibilidade Aprimorada:** O RF oferece uma forma intuitiva e inclusiva de acesso às atividades ludificadas, permitindo que estudantes com dificuldades motoras participem ativamente do aprendizado através do movimento da face.
- **Facilidade de Uso:** O RF elimina a necessidade de métodos de autenticação tradicionais, proporcionando uma experiência mais fluida e interativa para as estudantes enquanto aprendem e exploram a plataforma.

<sup>3</sup>[https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/face\\_detector](https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/face_detector)

<sup>4</sup>[https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/face\\_landmarker](https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/face_landmarker)

### Considerações Técnicas

- **Tecnologia de Reconhecimento Facial:** O RF utiliza a MediaPipe Face Detection Task e a MediaPipe Face Landmark Task para realizar a detecção e análise de faces em tempo real.
- **Requisitos de Hardware:** O RF requer uma webcam ou outro dispositivo de captura de vídeo para funcionar. A qualidade da captura de vídeo pode afetar a precisão do reconhecimento facial.
- **Desenvolvimento de Atividades:** O RF fornece uma API para que os desenvolvedores integrem a funcionalidade de reconhecimento facial em suas atividades ludificadas, possibilitando o controle de personagens e interatividade baseada no movimento facial.

O Reconhecimento Facial é uma significativa ferramenta que promove uma experiência de aprendizado mais inclusiva e interativa para estudantes com dificuldades motoras. Ao proporcionar uma interação baseada no movimento facial, o RF contribui para o engajamento e o sucesso dos alunos na plataforma educacional.

#### 8.3.1.2

##### Aplicações: Atividades Ludificadas e Interativas

Neste ciclo, novas aplicações de atividades ludificadas e interativas foram desenvolvidas sobre a plataforma, utilizando os novos componentes do Core de Reconhecimento de Movimentos do Corpo e de Faces. As atividades foram projetadas para promover uma experiência de aprendizado mais envolvente, acessível e inclusiva para todos os estudantes, incluindo aqueles com dificuldades motoras. As atividades ludificadas e interativas desenvolvidas neste ciclo incluem: Desafio da Lateralidade na Ilha Pirata, Futebol das Letras e Pulando com a Matemática. A seguir, são apresentadas as aplicações desenvolvidas e suas respectivas interações com os novos componentes do Core.

##### **Aplicação: Desafio da Lateralidade na Ilha Pirata**

Esta atividade, ilustrada na Figura 8.1, integra tecnologias de reconhecimento de mãos em um ambiente virtual dinâmico, complementado com animações e sons, com o objetivo de explorar a lateralidade de maneira lúdica e envolvente para o aluno.

A lateralidade é essencial para o desenvolvimento infantil, e sua inadequação pode resultar em dificuldades de aprendizagem e coordenação motora

ao longo da vida adulta. Estudos destacam sua importância para a capacidade de aprendizagem (ALVÃO; BOGONI, 2017).

Essa habilidade envolve o reconhecimento de direita e esquerda no próprio corpo, no dos outros e no espaço, manifestando-se em preferências por determinados lados, como mãos, olhos e pés. A estimulação da lateralização é crucial, utilizando-se de diferentes sentidos, pois não apenas promove a consciência espacial, mas também influencia diversos aspectos motores da criança.

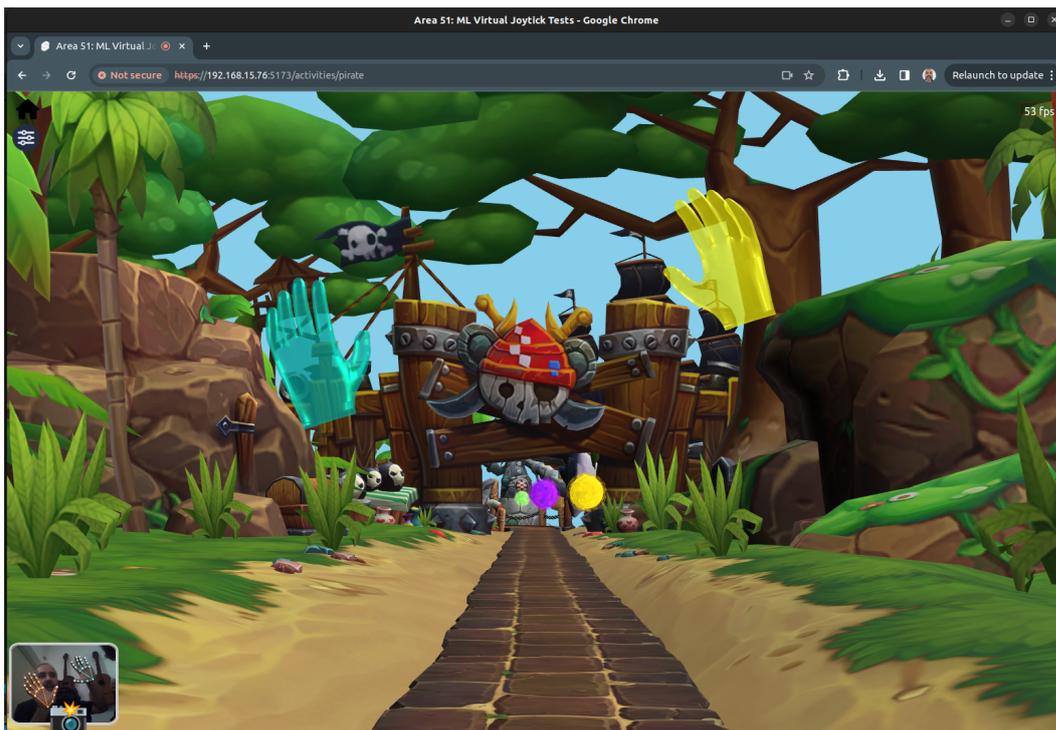


Figura 8.1: Atividade: Desafio da Lateralidade na Ilha Pirata - Captura de tela da atividade apresentando um exemplo da interação com o reconhecimento das mãos, onde o estudante deve mover a mão na direção da bola com a cor correspondente a da mão.

### **Aplicação: Futebol das Letras**

Esta atividade incorpora tecnologias de reconhecimento de faces, em um ambiente virtual dinâmico enriquecido com animações e sons. O objetivo é explorar um tema que tem a atenção do aluno para trabalhar conteúdos. Neste caso, trabalha a questão da ortografia, mas é possível personalizar a atividade de acordo com o conteúdo. Uma experiência interativa e imersiva que propicia aprendizado significativo, envolvendo emoções e interesses específicos.

Esta atividade, ilustrada na Figura 8.2, foi especialmente desenvolvida para um aluno da Professora Alexandra Alves, que cursa o primeiro ano do Ensino Fundamental e é uma Pessoa com Deficiência (PcD). Considerando suas

habilidades motoras limitadas, conseguindo movimentar somente a cabeça, e o grande interesse do aluno por futebol, portanto, foram aproveitados esse interesse e suas capacidades para criar uma atividade que dispensa o uso de mouse ou teclado.



Figura 8.2: Atividade: Futebol das Letras - Captura de tela da atividade apresentando um exemplo da interação com o reconhecimento de faces, onde o estudante deve mover a cabeça para a direção correta para atingir a bola com a letra correta da palavra apresentada.

### **Aplicação: Pulando com a Matemática**

Esta atividade incorpora reconhecimento de movimentos de corpo ou face para permitir a interação do aluno, atendendo algumas necessidades específicas. Foi elaborada com o propósito de beneficiar os alunos com TDAH, que muitas vezes sentem a necessidade de estar em movimento durante a aprendizagem, alunos com dificuldades no uso do teclado e/ou mouse, bem como aqueles que se beneficiam ao se afastar da pressão exercida pela estrutura tradicional da carteira escolar. O objetivo é abordar o conteúdo de matemática de forma lúdica, visando atrair a atenção do aluno e explorar seu campo de experiência do corpo, raciocínio e atenção.

(ANDRADE, 2007) destaca a importância da corporeidade ao abordar a vida em sociedade, observando que o corpo é o principal meio de interação e expressão do sujeito em relação ao mundo. Nesse contexto, o corpo não apenas

facilita a interação e a relação com o ambiente, mas também desempenha um papel fundamental na aprendizagem.



Figura 8.3: Atividade: Pulando com a Matemática - Captura de tela da atividade apresentando um exemplo da interação com o reconhecimento de movimentos do corpo, onde o estudante deve pular na direção do resultado correto da operação matemática apresentada.

### 8.3.1.3

#### **Análise das Atividades Ludificadas sob a Ótica do DUA**

Assim como decorrido na Seção 7.3.1.3 do ciclo anterior, as atividades ludificadas desenvolvidas neste ciclo foram analisadas sob a ótica do DUA. Contudo, como a análise dos recursos Cenários em 3D, Animações e Sons, já foi realizada no ciclo anterior, então, neste ciclo, a análise foi focada nos recursos de Reconhecimento de Movimentos do Corpo e de Faces.

#### **Reconhecimento de Movimentos do Corpo**

- **Ação e Expressão:** O reconhecimento de movimentos do corpo oferece uma forma alternativa de interação com as atividades, complementando o uso de comandos de voz, mouse/teclado e reconhecimento de gestos.

- **Engajamento:** O reconhecimento de movimentos do corpo pode tornar a experiência de aprendizado mais interativa e divertida, especialmente para alunos que preferem aprender de forma prática e dinâmica.

### Reconhecimento de Faces

- **Representação:** O reconhecimento de faces pode ser utilizado para identificar e personalizar a experiência de cada aluno, adaptando o conteúdo e as atividades às suas necessidades individuais.
- **Ação e Expressão:** O reconhecimento de faces pode permitir que os alunos interajam com as atividades de forma natural e intuitiva, utilizando expressões faciais para controlar o ambiente e realizar tarefas.
- **Engajamento:** O reconhecimento de faces pode aumentar o interesse e a motivação dos alunos, criando uma experiência de aprendizado mais interativa e personalizada.

A análise das atividades lúdicas sob a ótica do DUA demonstra que os recursos utilizados estão alinhados aos três princípios do DUA, proporcionando uma experiência de aprendizado mais acessível e eficaz para todos os alunos. A utilização do reconhecimento de faces e do reconhecimento de movimentos do corpo contribui para a criação de um ambiente de aprendizagem mais inclusivo e personalizado, atendendo às necessidades de diferentes estilos de aprendizagem e promovendo o engajamento e a motivação dos alunos.

#### 8.3.2

#### Ferramenta de Apoio ao Desenvolvimento e Aplicações

Durante este ciclo foi desenvolvida a ferramenta de apoio ao desenvolvimento e às aplicações, que consiste na aplicação que permite executar todos os modelos de aprendizado de máquina relacionados a estimação de pose, face e mãos que foram incorporados ao subsistema ML do Core. Através dessa ferramenta é possível visualizar a execução dos modelos em tempo real, bem como a captura de imagens e vídeos para posterior análise. Contudo, a principal funcionalidade da ferramenta é a possibilidade de executar os modelos de forma isolada, sem a necessidade de integrá-los a uma aplicação específica e enviar os dados inferidos através do protocolo de comunicação da plataforma. Isso permite que os desenvolvedores testem e validem os modelos de forma independente, garantindo que estejam funcionando corretamente antes de serem incorporados a uma aplicação final. A Figura 8.4 ilustra a ferramenta de

apoio ao desenvolvimento e às aplicações, sendo executada no navegador web do smartphone.

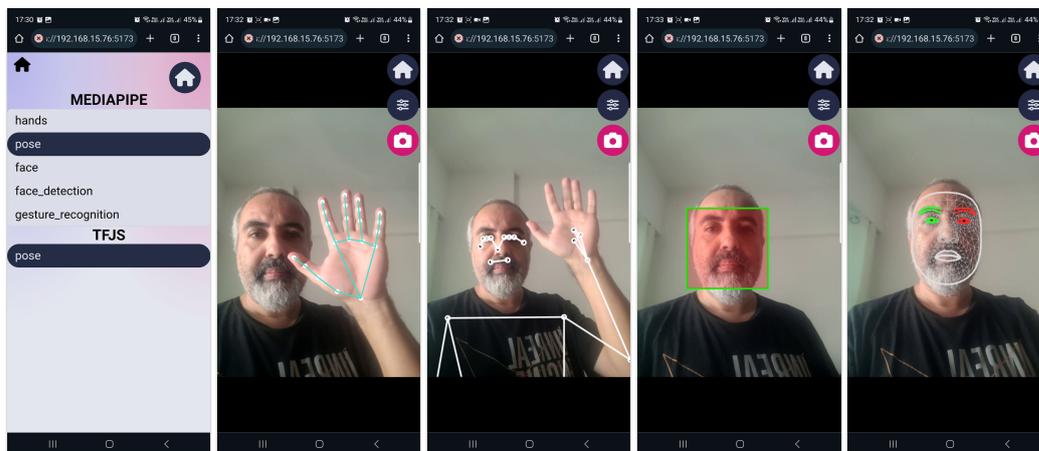


Figura 8.4: Ferramenta de Apoio ao Desenvolvimento e Aplicações - Captura de tela da ferramenta de apoio ao desenvolvimento e às aplicações sendo executada no smartphone. A ferramenta permite executar os modelos de aprendizado de máquina relacionados a estimação de pose, face e mãos em tempo real.

## 8.4 Avaliação

### 8.4.1 Avaliação do artefato

Neste ciclo a avaliação do artefato foi realizada em duas etapas: a primeira etapa consistiu na avaliação dos novos componentes do Core de Reconhecimento de Movimentos do Corpo e de Reconhecimento de Faces. A segunda etapa concentrou-se na avaliação das aplicações de atividades lúdicas e interativas desenvolvidas sobre a plataforma, utilizando os novos componentes do Core. Os recursos utilizados durante a avaliação são os mesmos do segundo ciclo e estão especificados na Tabela 7.1. Logo em seguida, são apresentados os resultados obtidos em cada etapa da avaliação.

#### 8.4.1.1 Avaliação dos Novos Componentes do Core

Os testes de funcionalidade foram conduzidos com base nos requisitos e especificações dos componentes, visando verificar a correta implementação de cada funcionalidade e a correspondência dos resultados às expectativas estabelecidas. Esses testes abrangeram uma variedade de cenários de uso, tanto típicos quanto excepcionais, bem como casos de teste específicos destinados a

validar o comportamento de cada componente em diferentes condições de operação. Os resultados dos testes de funcionalidade realizados com o componente RMC e RF estão detalhados nas Tabelas 8.1 e 8.2, respectivamente.

Tabela 8.1: Testes de funcionalidade realizados com o componente de Reconhecimento de Movimentos do Corpo

Teste	Resultado Esperado	Resultado Obtido
Teste de Reconhecimento de Movimentos Básicos	O sistema deve reconhecer corretamente os movimentos básicos enviados como entrada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimentos: Agachar, levantar os braços, girar o tronco para a direita, girar o tronco para a esquerda.</li> <li>- Resultado: Todos os movimentos foram reconhecidos corretamente pelo sistema.</li> </ul>
Teste de Precisão	O sistema deve reconhecer movimentos específicos com alta precisão, mesmo sob variações nas condições.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimentos: Alongamento, agachamento profundo, pulo.</li> <li>- Resultado: Todos os movimentos foram reconhecidos com precisão de 95% ou mais, mesmo em condições de iluminação variáveis.</li> </ul>
Continua na próxima página		

Tabela 8.1 – Continuação da página anterior

<b>Teste</b>	<b>Resultado Esperado</b>	<b>Resultado Obtido</b>
Teste de Tempo de Resposta	O sistema deve reconhecer os movimentos dentro de um tempo aceitável após sua execução.	Tempo Médio de Resposta: Menos de 50 milissegundos para reconhecer um movimento após sua execução.
Teste de Robustez	O sistema deve ser capaz de reconhecer movimentos mesmo em condições adversas.	Movimentos realizados de forma rápida ou desajeitada devem ser reconhecidos com uma taxa de precisão de pelo menos 90%.
Teste de Integração com o Sistema Principal	O componente de reconhecimento de movimentos deve integrar-se adequadamente ao sistema principal e acionar as ações corretas.	Ao utilizar movimentos como agachar e levantar os braços em um jogo de simulação de esportes, os movimentos foram reconhecidos corretamente e acionaram as ações esperadas dentro do jogo.
Teste de Desempenho em Tempo Real	O sistema deve manter um bom desempenho mesmo com o reconhecimento contínuo de movimentos ao longo do tempo.	O sistema mantém uma taxa constante de reconhecimento de movimentos, sem degradação significativa de desempenho após várias horas de uso contínuo.

Tabela 8.2: Testes de funcionalidade realizados com o componente de Reconhecimento de Faces

Teste	Resultado Esperado	Resultado Obtido
Teste de Reconhecimento de Faces	O sistema deve reconhecer corretamente as faces enviadas como entrada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faces: Rosto humano em diferentes ângulos e expressões faciais.</li> <li>- Resultado: Todas as faces foram reconhecidas corretamente pelo sistema, com uma taxa de precisão de pelo menos 95%.</li> </ul>
Teste de Tempo de Resposta	O sistema deve reconhecer as faces dentro de um tempo aceitável após sua detecção.	Tempo Médio de Resposta: Menos de 20 milissegundos (50 fps) para reconhecer uma face após sua detecção.
1 Teste de Robustez	O sistema deve ser capaz de reconhecer faces mesmo em condições adversas, como variações na iluminação ou oclusões parciais.	Faces parcialmente ocultas ou em condições de iluminação variáveis devem ser reconhecidas com uma taxa de precisão de pelo menos 94%.
Continua na próxima página		

Tabela 8.2 – Continuação da página anterior

Teste	Resultado Esperado	Resultado Obtido
Teste de Integração com o Sistema Principal	O componente de reconhecimento de faces deve integrar-se adequadamente ao sistema principal e acionar as ações corretas.	Ao utilizar o reconhecimento de faces em uma aplicação para verificar para onde a face está se movendo, as faces foram corretamente identificadas e as ações foram acionadas conforme configurado, utilizando as coordenadas da bounding box da face reconhecida para determinar se a face estava se movendo para cima, para baixo, para esquerda ou para direita.
Teste de Desempenho em Tempo Real	O sistema deve manter um bom desempenho mesmo com o reconhecimento contínuo de faces ao longo do tempo.	O sistema mantém uma taxa constante de reconhecimento de faces, sem degradação significativa de desempenho após várias horas de uso contínuo.

Os testes de funcionalidade realizados com os componentes de Reconhecimento de Movimentos do Corpo e Reconhecimento de Faces apresentaram resultados positivos. Ambos os sistemas demonstraram capacidade de reconhecer corretamente os movimentos e as faces, respectivamente, mesmo em condições adversas. O tempo de resposta de ambos os componentes foi satisfatório, mantendo o desempenho em tempo real. Além disso, tanto o RCM quanto o RF foram integrados com sucesso aos sistemas principais, acionando as ações corretas conforme configurado. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que ambos os componentes atendem aos requisitos de funcionalidade estabelecidos para suas respectivas aplicações.

#### 8.4.1.2

##### **Avaliação das Aplicações das Atividades Ludificadas e Interativas**

A avaliação das aplicações das atividades ludificadas e interativas não foi realizada neste ciclo devido a alguns fatores, os quais estão detalhados a seguir, assim como a metodologia planejada para a avaliação que será realizada em algum momento futuro e a importância desse processo para o projeto.

##### **Motivos para o Adiamento da Avaliação**

A avaliação das atividades ludificadas não foi realizada neste ciclo devido a alguns fatores:

- **Correções e Melhorias:** As atividades foram aprimoradas com base em feedbacks e testes anteriores. Corrigimos bugs, ajustamos interfaces e implementamos novas funcionalidades para melhorar a experiência do usuário.
- **Novas Funcionalidades e Aplicações:** Novas atividades e recursos foram desenvolvidos, expandindo as possibilidades da plataforma e atendendo a um público mais amplo.
- **Falta de Alinhamento de Calendários:** O calendário do projeto não se alinhou completamente com o calendário escolar do Colégio Pedro II, que no momento segue um calendário diferente de outras instituições, dificultando a disponibilidade dos professores e profissionais do NAPNE para participarem da avaliação.
- **Paralisação das Atividades:** Uma paralisação das atividades do CPII está prevista para abril de 2024, com data de retorno indefinida. Realizar a avaliação neste momento seria inviável.

### **Metodologia da Avaliação Planejada**

A avaliação das atividades ludificadas e interativas será realizada em etapas posteriores, seguindo uma metodologia abrangente:

- **Oficina com Professores:** Uma oficina será realizada com professores da Informática Educativa de Realengo I e do CREIR do CPII. Eles testarão as atividades e fornecerão feedback sobre usabilidade, eficácia e adequação para os alunos.
- **Teste Observacional:** Durante a oficina, os pesquisadores observarão e registrarão as ações, comentários e reações dos professores enquanto interagem com as atividades. Perguntas serão feitas para obter feedback adicional sobre suas percepções.
- **Avaliação em Ambiente Controlado:** As atividades serão testadas em ambiente controlado com a presença dos pesquisadores. Os professores serão convidados a interagir com as atividades e fornecer feedback sobre usabilidade, eficácia e adequação para os alunos.
- **Análise de Dados:** Os dados coletados serão analisados para identificar pontos fortes e fracos das atividades, além de possíveis melhorias e ajustes.
- **Aprimoramento das Atividades:** Os resultados da avaliação serão utilizados para aprimorar as atividades, garantindo que atendam às necessidades e expectativas dos alunos e professores.

### **Importância da Avaliação para o Projeto**

A avaliação é fundamental para o aprimoramento das atividades e para o sucesso do projeto. Ela permitirá:

- **Identificar pontos fortes e fracos:** A avaliação fornecerá informações valiosas sobre o que funciona bem nas atividades e o que precisa ser melhorado.
- **Realizar ajustes e melhorias:** Com base nos resultados da avaliação, as atividades serão aprimoradas para atender às necessidades dos estudantes de forma mais eficaz.
- **Garantir a qualidade e efetividade:** A avaliação garantirá que as atividades sejam de alta qualidade e que contribuam efetivamente para o processo de ensino-aprendizagem dos alunos com necessidades especiais.

### **Próximos Passos**

A avaliação das atividades ludificadas e interativas será realizada assim que possível, considerando os seguintes passos:

- **Replanejamento da Oficina:** A oficina com os professores será reprogramada para uma data que seja viável para todos os envolvidos.
- **Preparação do Ambiente Controlado:** O ambiente controlado para a avaliação das atividades será preparado e equipado com os recursos necessários.
- **Divulgação da Avaliação:** A comunidade escolar será informada sobre a avaliação e seus objetivos.
- **Coleta e Análise de Dados:** Os dados coletados durante a avaliação serão cuidadosamente analisados e interpretados.
- **Implementação de Melhorias:** As melhorias identificadas na avaliação serão implementadas nas atividades.

A avaliação das atividades ludificadas e interativas é um componente essencial do projeto da instância da plataforma para a educação inclusiva. Através de uma metodologia rigorosa e bem planejada, a avaliação fornecerá informações valiosas para o aprimoramento das atividades e garantirá que elas atendam às necessidades dos alunos com necessidades especiais, contribuindo para a sua inclusão no processo educacional.

## **8.5 Conclusões**

### **8.5.1 Explicitação das aprendizagens**

Em complementação ao ciclo anterior, o terceiro ciclo do projeto proporcionou novas aprendizagens e insights valiosos para o desenvolvimento de tecnologias educacionais acessíveis e inclusivas. Durante este ciclo, foram desenvolvidos e integrados novos componentes ao Core da plataforma, incluindo o Reconhecimento de Movimentos do Corpo e o Reconhecimento de Faces, que ampliaram as possibilidades de interação e personalização das atividades ludificadas. Esses componentes foram utilizados para criar novas aplicações, como o Desafio da Lateralidade na Ilha Pirata, Futebol das Letras e Pulando com a Matemática, que promovem uma experiência de aprendizado mais envolvente e acessível para todos os estudantes, incluindo aqueles com dificuldades motoras. Além disso, uma nova ferramenta de apoio ao desenvolvimento e às aplicações

foi desenvolvida, permitindo a execução e teste dos modelos de aprendizado de máquina de forma independente. A avaliação dos novos componentes do Core foi realizada com sucesso, demonstrando que ambos atendem aos requisitos de funcionalidade estabelecidos. A avaliação das atividades ludificadas e interativas foi adiada devido a questões de calendário, mas será realizada em etapas posteriores, seguindo uma metodologia abrangente. A avaliação é fundamental para o aprimoramento das atividades e para o sucesso do projeto, garantindo que as atividades sejam de alta qualidade e contribuam efetivamente para o processo de ensino-aprendizagem dos alunos com necessidades especiais.

### **8.5.2 Conclusões**

Apesar da não realização da avaliação das atividades ludificadas e interativas neste ciclo, os resultados obtidos com os novos componentes do Core, Reconhecimento de Movimentos do Corpo e Reconhecimento de Faces, foram positivos. Ambos os sistemas demonstraram capacidade de reconhecer corretamente os movimentos e as faces, respectivamente, mesmo em condições adversas. O tempo de resposta de ambos os componentes foi satisfatório, mantendo o desempenho em tempo real. Além disso, tanto o RCM quanto o RF foram integrados com sucesso aos sistemas principais, acionando as ações corretas conforme configurado. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que ambos os componentes atendem aos requisitos de funcionalidade estabelecidos para suas respectivas aplicações.

### **8.5.3 Generalização para uma classe de problemas**

A generalização para uma classe de problemas é a mesma do ciclo anterior, não sendo necessária uma nova generalização.

## Conclusão e Trabalhos Futuros

Esta pesquisa se concentrou no desenvolvimento de uma plataforma destinada a facilitar a criação de aplicações de atividades ludificadas interativas no contexto da educação inclusiva. A plataforma baseada em tecnologias web, integra realidade estendida e algoritmos de aprendizado de máquina, visando proporcionar experiências de aprendizagem personalizadas e motivadoras para alunos com necessidades especiais, enquanto também simplifica o trabalho de professores e desenvolvedores.

A importância dessa iniciativa é enfatizada pela prevalência global de transtornos de aprendizagem, como dislexia, discalculia, autismo e distúrbios de atenção, afetando aproximadamente 10% da população, de acordo com (BUTTERWORTH, 2018). Estes transtornos podem representar desafios significativos que impactam não apenas o desempenho acadêmico, mas também o desenvolvimento social e emocional, especialmente em crianças. Assim, a necessidade de soluções inclusivas torna-se evidente, especialmente para apoiar os professores que lidam com estudantes nos primeiros anos do Ensino Fundamental I, uma vez que é nessa fase crucial que as crianças começam a desenvolver habilidades fundamentais, como leitura, escrita e matemática.

Para atingir os objetivos desta pesquisa, foi seguida a metodologia Design Science Research (DSR), visto que, ela concentra-se na criação de artefatos destinados a auxiliar na solução de problemas do mundo real (PIMENTEL; FILIPPO; SANTOS, 2020) (DRESCH et al., 2015), fundamentando-se nos princípios de validade científica e validade pragmática. Isso garante não apenas o rigor teórico e metodológico necessários, mas também a eficácia prática das soluções propostas para os desafios identificados, conforme destacado por (DRESCH et al., 2015).

Foram delineados três ciclos para conduzir o desenvolvimento e a avaliação da plataforma proposta nesta tese. O primeiro ciclo é distinto dos demais, pois foi voltado para a concepção da plataforma, enquanto os demais ciclos foram voltados para a implementação e avaliação da instância da plataforma no contexto da educação inclusiva. Cada ciclo foi composto por atividades de investigação, design, desenvolvimento, avaliação e comunicação, as quais estão dispostas nas categorias de ação propostas por (SANTANA; PEREIRA; MATTOS, 2023), cujos objetivos e resultados estão alinhados com as etapas da DSR propostas por (DRESCH et al., 2015).

No primeiro ciclo, voltado para a concepção da plataforma, concentrou-se

no planejamento e desenvolvimento da plataforma, denominada FrameLand, a qual foi idealizada para ser a mais abrangente e reutilizável possível, sendo capaz de atender a diferentes necessidades e contextos, ou seja, pode ser aplicada em diversos setores, incluindo educação, saúde e entretenimento. Além de dispor de um conjunto de ferramentas e utilitários que auxiliem os desenvolvedores na produção de novas aplicações. Durante o desenvolvimento da plataforma FrameLand, identificou-se que a complexidade da integração entre XR e ML pode representar um desafio tecnológico significativo, uma vez que envolve a integração de diversas áreas de conhecimento, como visão computacional, processamento de imagens, aprendizado de máquina, comunicação em tempo real e desenvolvimento de aplicações. Os testes realizados revelaram que a implementação da plataforma FrameLand apresentou um desempenho satisfatório em smartphones com hardware razoável. Esses resultados foram significativos, pois evidenciam a viabilidade de utilizar dispositivos móveis amplamente disponíveis e acessíveis no contexto socioeconômico brasileiro. No entanto, o desempenho do elemento de processamento dos algoritmos de ML pode ser aprimorado com otimizações adicionais.

No segundo ciclo, deu-se o início à pesquisa e estudos necessários para a implementação da instância da plataforma para o contexto da educação inclusiva, onde os professores desempenham um papel fundamental na identificação e apoio aos alunos com necessidades especiais, como os diagnosticados com TEA e TDAH. Entretanto, muitos desses professores enfrentam dificuldades devido à falta de recursos e ferramentas específicas para apoiá-los. A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) realizada neste ciclo, confirmou essa ausência de soluções que atendam às demandas dos professores dos alunos dos anos iniciais. Isso destaca a relevância de desenvolver ferramentas específicas para esse cenário educacional inclusivo, visando oferecer suporte ao professor no desenvolvimento de atividades personalizadas e adaptadas às necessidades dessas classes de alunos. Após a RSL, em colaboração com a Professora Dr<sup>a</sup> Alexandra Alves do Departamento de Informática Educativa do CII, do Campus Realengo I, e que também leciona para os alunos do NAPNE, foram definidos os algoritmos de aprendizado de máquina a serem utilizados. Ademais, foram desenvolvidas as primeiras aplicações de atividades ludificadas que foram concebidas na forma de templates, cujos requisitos foram definidos pela professora e são embasados no Desenho Universal para Aprendizagem (DUA). Durante o ciclo foram realizadas apresentações e testes com professoras e profissionais do NAPNE do CII, a fim de validar a eficácia e a adaptabilidade dos templates. Em suas avaliações, as profissionais destacaram a importância e eficácia dos componentes de reconhecimento de gestos com as mãos e de tra-

dução de texto para fala e fala para texto, disponibilizados nas aplicações das atividades ludificadas e interativas. Na visão dessas profissionais, esses componentes revelaram-se fundamentais para facilitar a interação e comunicação com os alunos, contribuindo significativamente para um ambiente de aprendizado mais inclusivo e dinâmico. Além dos testes com profissionais do CPII, a plataforma foi demonstrada durante a 1ª Semana de Ciência e Tecnologia do Colégio Pedro II que proporcionou insights valiosos sobre o desempenho das atividades em um ambiente real. A partir dos resultados obtidos, foram realizadas as primeiras iterações de melhorias e ajustes nas aplicações, e a definição de novas atividades a serem implementadas no próximo ciclo. Embora, ainda, não tenha sido realizada evidência de eficácia em sala de aula das atividades implementadas, o interesse manifestado durante a feira de ciências sugere o potencial das aplicações para o ensino.

Em complementação ao ciclo anterior, o terceiro ciclo do projeto proporcionou novas aprendizagens e insights valiosos para o desenvolvimento de tecnologias educacionais acessíveis e inclusivas. Durante este ciclo, foram desenvolvidos e integrados à plataforma os componentes de reconhecimento de movimentos do corpo e o reconhecimento de faces. Esses componentes foram utilizados para criar novas aplicações, como o Desafio da Lateralidade na Ilha Pirata, Futebol das Letras e Pulando com a Matemática, que promovem uma experiência de aprendizado mais envolvente e acessível para todos os estudantes, incluindo aqueles com dificuldades motoras. Além disso, uma nova ferramenta de apoio ao desenvolvimento e às aplicações foi desenvolvida, permitindo a execução e teste dos modelos de aprendizado de máquina de forma independente. A avaliação dos novos componentes foi realizada com sucesso, demonstrando que ambos atendem aos requisitos de funcionalidade estabelecidos. Entretanto, a avaliação das atividades ludificadas e interativas através de oficina com as professoras do CPII, foi adiada devido a questões de calendário, mas será realizada em etapas posteriores, seguindo uma metodologia abrangente. A avaliação é necessária para o aprimoramento das atividades e para o sucesso do projeto, garantindo que as atividades sejam de alta qualidade e contribuam efetivamente para o processo de ensino-aprendizagem dos alunos com necessidades especiais.

Os resultados obtidos nos ciclos sugerem que a plataforma pode ser uma ferramenta eficaz para apoiar professores e alunos ao oferecer atividades ludificadas e interativas, promovendo uma experiência de aprendizado mais inclusiva e motivadora. A integração de tecnologias emergentes, como realidade estendida e aprendizado de máquina, pode proporcionar novas oportunidades para a educação inclusiva, permitindo a personalização das atividades de

acordo com as necessidades e habilidades de cada aluno. Além disso, a plataforma FrameLand pode ser adaptada para atender a diferentes contextos educacionais e necessidades específicas, tornando-se uma ferramenta versátil e flexível para professores e desenvolvedores.

## 9.1

### Limitações

Embora esta pesquisa tenha alcançado resultados promissores, é importante reconhecer algumas limitações que podem influenciar a interpretação e generalização dos achados.

Um aspecto relevante a ser considerado é o tamanho reduzido das amostras utilizadas em algumas etapas da avaliação. Na avaliação das atividades e aplicações ludificadas e interativas, o número de participantes foi limitado. Isso pode afetar a representatividade dos resultados e sua capacidade de generalização para um contexto mais amplo.

Além disso, a ausência de avaliação das aplicações das atividades ludificadas elaboradas no terceiro ciclo devido a questões de alinhamento de calendários, implica em uma lacuna na avaliação da eficácia e usabilidade dessas atividades. A falta de avaliação por professores e profissionais do NAPNE representa uma limitação significativa em nossa compreensão do impacto da plataforma em diferentes contextos educacionais e com diferentes grupos de alunos.

Outra limitação significativa é a falta de avaliação direta com os alunos atendidos pelo NAPNE. Embora tenha sido planejado, ainda não foi possível realizar essa avaliação, o que deixa uma lacuna na compreensão da experiência dos alunos com deficiência em relação à plataforma.

Ademais, a plataforma ainda não foi testada em outros contextos educacionais, navegadores ou dispositivos. A falta de diversidade nesses testes limita nossa capacidade de entender completamente a usabilidade e eficácia da plataforma em diferentes ambientes e configurações tecnológicas.

Em conjunto, essas limitações destacam a necessidade de estudos futuros mais abrangentes e diversificados, a fim de aprimorar a compreensão da eficácia e usabilidade da plataforma em diversos contextos educacionais e com uma variedade de usuários.

## 9.2

### Trabalhos Futuros

A seguir são delineadas algumas direções futuras para o desenvolvimento e aprimoramento da plataforma proposta. Estes trabalhos futuros visam não

apenas consolidar e expandir as funcionalidades existentes, mas também aprofundar a compreensão do impacto da plataforma na prática educacional inclusiva. Por meio de avaliações com professores e alunos, adição de novos recursos, continuidade das pesquisas e colaboração com profissionais de educação especial, espera-se fortalecer ainda mais a capacidade da plataforma de atender às necessidades diversificadas dos alunos com deficiência e transtornos do neurodesenvolvimento. Além disso, esforços serão direcionados para garantir a acessibilidade e a atualização contínua da plataforma, bem como para promover sua adoção e disseminação em ambientes educacionais diversos. Esses trabalhos representam um compromisso contínuo com a inovação e a melhoria constante em direção a uma educação mais inclusiva e equitativa. As direções futuras incluem:

- **Avaliação com Professores por Meio de Oficinas:** Realizar avaliações junto aos professores por meio de oficinas, buscando feedback sobre a utilização da plataforma e identificando áreas de melhoria.
- **Avaliação com Alunos do NAPNE:** Conduzir avaliações com os alunos atendidos pelo Núcleo de Apoio às Pessoas com Necessidades Específicas (NAPNE), visando entender suas experiências e demandas em relação à plataforma.
- **Levantamento de Requisitos com Profissionais AEE e NAPNE:** Coletar requisitos junto aos profissionais de Atendimento Educacional Especializado (AEE) e do NAPNE, garantindo que a plataforma atenda às demandas específicas desses públicos.
- **Disseminação e Capacitação:** Ampliar o conhecimento sobre a plataforma e promover sua utilização por professores e instituições de ensino, oferecendo capacitação e suporte adequados.
- **Adição de Novos Modelos:** Expandir a variedade de modelos disponíveis, como a detecção de objetos, para serem utilizados em aplicações de realidade aumentada, ampliando assim as possibilidades de aprendizagem inclusiva.
- **Serviço de TTS e STT Local:** Desenvolver os serviços Text-to-Speech (TTS) e Speech-to-Text (STT) localmente no ambiente de serviços, permitindo que a plataforma opere independentemente de conexão com a internet.
- **Manutenção e Atualização:** Garantir a constante atualização da plataforma com novas tecnologias e funcionalidades relevantes para a educação inclusiva.

- **Continuidade das Pesquisas:** Prosseguir com as pesquisas, abordando outros transtornos do neurodesenvolvimento e deficiências, a fim de desenvolver soluções cada vez mais abrangentes e eficazes.

### 9.3

#### **Considerações Finais**

O desenvolvimento da plataforma é um desafio, mas também uma oportunidade para melhorar a qualidade da educação para todos os alunos. Acreditamos que este trabalho pode contribuir para a construção de uma sociedade mais justa e inclusiva. A educação é um direito fundamental de todos os cidadãos, e a tecnologia pode desempenhar um papel crucial na promoção da igualdade de oportunidades e no desenvolvimento de habilidades e competências para a vida. Esperamos que a plataforma possa ser uma ferramenta valiosa para professores e alunos, contribuindo para uma educação mais inclusiva e acessível para todos.

## 10

### Referências bibliográficas

ABDA. **Cartilha ABDA, Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade - tdah**. [S.l.]: Associação Brasileira do Déficit de Atenção, 2017. <<https://tdah.org.br/sobre-tdah/o-que-e-tdah/>>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

ABDA. **O que é TDAH**. 2018. <<https://tdah.org.br/sobre-tdah/o-que-e-tdah/>>. Acesso em: 14 de setembro de 2023.

ALLEN, J. G. et al. Object tracking using camshift algorithm and multiple quantized feature spaces. In: CITESEER. **ACM international conference proceeding series**. [S.l.], 2004. v. 100, p. 3–7.

ALMEIDA, C. et al. Negative effects of gamification in education software: Systematic mapping and practitioner perceptions. **Information and Software Technology**, v. 156, p. 107142, 2023. ISSN 0950-5849. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584922002518>>.

ALQITHAMI, S. A serious-gamification blueprint towards a normalized attention. **Brain Informatics**, SpringerOpen, v. 8, n. 1, p. 1–13, 2021.

ALVÃO, L. C.; BOGONI, R. M. Lateralidade: um estudo de caso de crianças canhotas. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 8, n. 22, dez 2017. ISSN 2175-1846. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/recit/article/view/e-5146>>.

ANDRADE, C. B. A sociologia do corpo. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 23, p. 484–485, fev. 2007. ISSN 0102-311X, 1678-4464. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/csp/a/v9QykTYHzRsDHTzJVCcVvjd/?lang=pt>>.

ARAKAWA, R. et al. LemurdX: Using unconstrained passive sensing for an objective measurement of hyperactivity in children with no parent input. **Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.**, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 7, n. 2, jun 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3596244>>.

ARTOLA, V.; SANZ, C.; BALDASSARRI, S. A novel tangible interaction authoring tool for creating educational activities: Analysis of its acceptance by educators. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 16, n. 5, p. 633–647, 2023. Cited By 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85140795891&doi=10.1109%2fTLT.2022.3216117&partnerID=40&md5=30c8388cb391918201bf0e36fa53d600>>.

BASKERVILLE, R. **What design science is not**. [S.l.]: Taylor & Francis, 2008. 441–443 p.

BAZAREVSKY, V. et al. **BlazePose: On-device Real-time Body Pose tracking**. 2020.

BRASIL. **Política Nacional de Proteção dos Direitos da Pessoa com Transtorno do Espectro Autista**. 2012. <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12764.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12764.htm)>. Acessado: 2023-07-20.

BRASIL. **Lei nº 12.796, de 4 de abril de 2013**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2013. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2013/lei-12796-4-abril-2013-775628-norma-pl.html>>.

BRASIL. Plano nacional de educação (pne). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Câmara dos Deputados, Brasília, n. 13.005, junho 2014.

BRASIL. **Estatuto da Pessoa com Deficiência**. 3. ed. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2019. 50 p. Disponível em: <[https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/554329/estatuto\\_da\\_pessoa\\_com\\_deficiencia\\_3ed.pdf](https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/554329/estatuto_da_pessoa_com_deficiencia_3ed.pdf)>.

BRASIL. **Decreto nº 10.502, de 30 de setembro de 2020**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2020. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.502-de-30-de-setembro-de-2020-280529948>:<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.502-de-30-de-setembro-de-2020-280529948>>.

BRASIL. **Lei nº 14.254, de 30 de novembro de 2021**. Brasília: Presidência da República, 2021. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2021/lei/L14254.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14254.htm)>.

BRASIL. **Decreto nº 11.370, de 1º de janeiro de 2023**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2023. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decreto/2023/decreto-11370-1-janeiro-2023-793604-norma-pe.html>>.

BRASIL, A. N. **Imperial Colégio de Pedro II**. 2023. Acesso em: 2023-12-10. Disponível em: <<http://mapa.an.gov.br/index.php/menu-de-categorias-2/326-imperial-colegio-de-pedro-ii>>.

BRASIL, C. d. D. **Lei 13146/2015, Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência)**. 2015. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2015/lei-13146-6-julho-2015-781174-norma-atualizada-pl.html>>.

BRASIL, I. N. de Estudos e P. E. A. T. **Glossário da educação especial: Censo Escolar 2022**. Brasília: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), 2022. <[https://download.inep.gov.br/pesquisas\\_estatisticas\\_indicadores\\_educacionais/censo\\_escolar/orientacoes/matricula\\_inicial/glossario\\_da\\_educacao\\_especial\\_censo\\_escolar\\_2022.pdf](https://download.inep.gov.br/pesquisas_estatisticas_indicadores_educacionais/censo_escolar/orientacoes/matricula_inicial/glossario_da_educacao_especial_censo_escolar_2022.pdf)>. Acessado: 2023-09-23.

BRASIL, M. d. E. **Diretrizes Nacionais para a Educação Especial na Educação Básica**. 2008. Documento oficial.

BRASIL, M. d. E. **Diretrizes para Publicação de Trabalhos de Conclusão de Curso**. [S.l.]: Ministério da Educação, 2008. <[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=428-diretrizes-publicacao&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=428-diretrizes-publicacao&Itemid=30192)>. Acesso em: 15 de agosto de 2023.

BRASIL, M. d. E. **Orientações para a Organização e Funcionamento das Salas de Recursos Multifuncionais**. 2008. Documento oficial.

BRASIL, M. d. E. **Documento de Apoio à Implementação da Política de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva**. 2014. Documento oficial.

BRASIL, M. d. E. **Formação Continuada de Professores para o Atendimento Educacional Especializado**. 2014. Documento oficial.

BRASIL, M. d. E. **Programa Implantação de Salas de Recursos Multifuncionais**. [S.l.]: Ministério da Educação, 2018. <<http://portal.mec.gov.br/escola-de-gestores-da-educacao-basica/194-secretarias-112877938/secad-educacao-continuada-223369541/17430-programa-implantacao-de-salas-de-recursos-multifuncionais-novo>>. Acesso em: 15 de agosto de 2023.

BRASIL, M. d. E. **Instituições da Rede Federal de Educação Básica, Profissional e Tecnológica**. [S.l.]: Ministério da Educação, 2024. <<http://portal.mec.gov.br/rede-federal-inicial/instituicoes>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2024.

BRASIL, M. d. S. **Entre 5% e 8% da população mundial apresenta Transtorno de Déficit de Atenção com Hiperatividade**. 2022. Acesso em: 16 de março de 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2022/setembro/entre-5-e-8-da-populacao-mundial-apresenta-transtorno-de-deficit-de-atencao-com-hiperatividade>>.

BRASIL, M. da E. **Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva**. Brasília: Ministério da Educação, 2008. <<http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/politicaeducspecial.pdf>>. Acessado: 2023-07-12.

BRASIL. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas. **Tecnologia Assistiva**. Brasília, DF: CORDE, 2009. 138 p. Disponível em: <[https://www.galvaofilho.net/livro-tecnologia-assistiva\\_CAT.pdf](https://www.galvaofilho.net/livro-tecnologia-assistiva_CAT.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2022. Disponível em: <[https://www.galvaofilho.net/livro-tecnologia-assistiva\\_CAT.pdf](https://www.galvaofilho.net/livro-tecnologia-assistiva_CAT.pdf)>.

BROCKE, J. V. et al. Special issue editorial—accumulation and evolution of design knowledge in design science research: a journey through time and space. **Journal of the Association for Information Systems**, v. 21, n. 3, p. 9, 2020.

BUTCHER, P. W.; JOHN, N. W.; RITSOS, P. D. VRIA: A web-based framework for creating immersive analytics experiences. **IEEE Transactions on visualization and computer graphics**, v. 27, n. 7, p. 3213–3225, 2020. ISBN: 1077-2626 Publisher: IEEE.

BUTTERWORTH, B. **Dyscalculia: From science to education**. [S.l.]: Routledge, 2018.

CAMARGO, L. O. d. L. O lúdico na cultura contemporânea. **Revista de Educação Pública**, scielo, v. 29, 01 2020. ISSN 2238-2097. Disponível em: <[http://educacao.fcc.org.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2238-20972020000100215&nrm=iso](http://educacao.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2238-20972020000100215&nrm=iso)>.

CAO, Z. et al. **OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields**. 2019.

CARRIER, S. et al. Empowering children with asd and their parents: Design of a serious game for anxiety and stress reduction†. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 4, 2020. Cited By 43. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85079336583&doi=10.3390%2fs20040966&partnerID=40&md5=ec38e022873ee664a6ac7ea896d43767>>.

Cetic.br. **TIC Domicílios - 2021 Domicílios**. 2021. Acesso em: 2023-05-06. Disponível em: <<https://cetic.br/pt/tics/domicilios/2021/domicilios/>>.

CHENG, Y. Mean shift, mode seeking, and clustering. **IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence**, IEEE, v. 17, n. 8, p. 790–799, 1995.

CHRISTIANSEN, L. et al. Effects of exercise on cognitive performance in children and adolescents with adhd: potential mechanisms and evidence-based recommendations. **Journal of clinical medicine**, MDPI, v. 8, n. 6, p. 841, 2019.

COELHO, L. et al. Attention deficit hyperactivity disorder (adhd) in children: neurobiological aspects, diagnosis and therapeutic approach. **Acta medica portuguesa**, v. 23, n. 4, p. 689–696, 2010.

COLLATTO, D. C. et al. Is action design research indeed necessary? analysis and synergies between action research and design science research. **Systemic Practice and Action Research**, Springer, v. 31, p. 239–267, 2018.

CORREA, Y.; MORO, T. B.; VALENTINI, C. B. Tecnologia assistiva na educação inclusiva. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, p. 2963–2970, dez. 2021. ISSN 1982-5587. Disponível em: <<https://periodicos.fclar.unesp.br/iberoamericana/article/view/16060>>.

CORRÊA, L. A. **Tecnologias digitais aplicadas à educação inclusiva : Fortalecendo o desenho universal para a aprendizagem**. São Paulo, SP: Lumos Assessoria Editorial, 2021. ISBN 9786558544678.

COSTA-RENDERS, E. C.; AMARAL, M. S. D. S.; OLIVEIRA, F. S. P. D. Desenho universal para aprendizagem: um percurso investigativo sobre a educação inclusiva. **REVISTA INTERSABERES**, v. 15, n. 34, abr. 2020. ISSN 1809-7286. Disponível em: <<https://www.revistasuninter.com/intersaberes/index.php/revista/article/view/1743>>.

COSTA-RENDERS, E. C.; GONÇALVES, M. A. d. N.; SANTOS, M. H. d. O DESIGN UNIVERSAL PARA APRENDIZAGEM: UMA ABORDAGEM CURRICULAR NA ESCOLA INCLUSIVA. **Revista e-Curriculum**, v. 19, n. 2, p. 705–728, jun. 2021. ISSN 1809-3876. Disponível em: <<https://revistas.pucsp.br/index.php/curriculum/article/view/46847>>.

CPII. **1ª Semana de Ciência e Tecnologia do CPII teve apresentação de projetos, debates e oficinas**. 2023. Disponível em: <[https://www.cp2.g12.br/ultimas\\_publicacoes/225-noticias/13139-1%C2%AA-semana-de-ci%C3%AAnci](https://www.cp2.g12.br/ultimas_publicacoes/225-noticias/13139-1%C2%AA-semana-de-ci%C3%AAnci)>.

a-e-tecnologia-do-cpii-teve-apresenta%C3%A7%C3%A3o-de-projetos,-debates-e-oficinas.html>.

CPII, N. **NAPNE - Núcleo de Atendimento às Pessoas com Necessidades Educacionais Específicas**. 2021. <<https://www.cp2.g12.br/using-joomla/extensions/components/content-component/article-categories/9151-napne.html>>. Acesso em: 2023-12-10.

CPII, N. **Sala de Recursos**. 2021. <<https://www.cp2.g12.br/using-joomla/extensions/components/content-component/article-categories/9155-sala-de-recursos-sl.html>>. Acesso em: 15 de agosto de 2023.

DENTZEL, Z. **How the Internet Has Changed Everyday Life**. 2022. Disponível em: <<https://www.bbvaopenmind.com/en/articles/internet-changed-everyday-life/>>.

DHARMARATHNE, R. S. C. K. et al. Step up: Systematically motivating the children with low psychological maturity level and disabled children using gamification and human computer interaction. In: **2022 IEEE 7th International conference for Convergence in Technology (I2CT)**. [S.l.: s.n.], 2022. p. 1–6.

DILLHOFF, A. et al. An automated assessment system for embodied cognition in children: from motion data to executive functioning. In: **Proceedings of the 6th International Workshop on Sensor-Based Activity Recognition and Interaction**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020. (iWOAR '19). ISBN 9781450377140. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3361684.3361693>>.

DRESCH, A. et al. **Design science research**. [S.l.]: Springer, 2015.

DUNLEAVY, M. Design principles for augmented reality learning. **TechTrends**, Springer, v. 58, n. 1, p. 28–34, 2014.

FAROOQ, S. et al. Designing gamified application: An effective integration of augmented reality to support learning. **IEEE Access**, v. 10, p. 121385–121394, 2022. Cited By 3. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85141621857&doi=10.1109%2fACCESS.2022.3221473&partnerID=40&md5=d3586915325ba6a3ca4120879d5082ce>>.

FERREIRA, M. A. da S. et al. Compreendendo o papel do lúdico como mediador da aprendizagem e da inclusão na educação especial: Uma análise teórica. **WEB REVISTA LINGUAGEM, EDUCAÇÃO E MEMÓRIA**, v. 16, n. 16, p. 145–154, 2019.

FILHO, T. A. G. A construção do conceito de Tecnologia Assistiva: alguns novos interrogantes e desafios. **Revista Entreideias: educação, cultura e sociedade**, v. 2, n. 1, ago. 2013. ISSN 2317-1219. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/entreideias/article/view/7064>>.

GAGGI, O.; GROSSET, L.; PANTE, G. A virtual reality application to make mathematical functions accessible. In: **Proceedings of the 2023 ACM Conference on Information Technology for Social Good**. New York, NY, USA: Association

for Computing Machinery, 2023. (GoodIT '23), p. 257–264. ISBN 9798400701160. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3582515.3609542>>.

GRAHAM, T. et al. Design and evaluation of an exergaming system for children with autism spectrum disorder: The children's and families' perspective. **Frontiers in Virtual Reality**, v. 3, 2022. Cited By 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85138061954&doi=10.3389%2ffrvir.2022.817303&partnerID=40&md5=08efdc32481f1c83f3c15b7a0d276aca>>.

HANSMANN, U. et al. **Pervasive computing handbook**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2013.

HAYS, M.; MULLEN, T. **MediaPipe on the Web**. 2020. Disponível em: <<https://developers.googleblog.com/2020/01/mediapipe-on-web.html>>.

HUMMEL, E. I.; TAVARES, K. M.; TAVARES, K. M. Desenho universal de aprendizagem e a educação inclusiva: Desafios e perspectivas na prática pedagógica docente / Universal design of learning and inclusive education: Challenges and perspectives in teaching pedagogical practice. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 115083–115093, dez. 2021. ISSN 2525-8761. Disponível em: <<https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/41037>>.

IBGE. **IBGE - PNAD Contínua: Acesso à Internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal 2021**. 2021. Acesso em: 2023-05-06. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101963\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101963_informativo.pdf)>.

IIVARI, J.; VENABLE, J. R. Action research and design science research-seemingly similar but decisively dissimilar. 2009.

JAIN, H. et al. Milap: A gamified system to ease conversations for asd. In: **2023 International Conference on Advanced Computing Technologies and Applications (ICACTA)**. [S.l.: s.n.], 2023. p. 1–7.

JÄRVINEN, P. Action research is similar to design science. **Quality & quantity**, Springer, v. 41, p. 37–54, 2007.

JOHNSON, L. et al. **NMC horizon report: 2016 higher education edition**. [S.l.]: The New Media Consortium, 2016.

JOSHI, P. et al. Learning controls for blend shape based realistic facial animation. In: **ACM Siggraph 2006 Courses**. [S.l.: s.n.], 2006. p. 17–es.

JÚNIOR, R. S. et al. ASSISTIVE TECHNOLOGY: THE IMPORTANCE IN THE TRAINING OF STUDENTS WITH DISABILITIES. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 14, n. 41, p. 248–260, maio 2023. Disponível em: <<https://zenodo.org/records/7927443>>.

KAIMARA, P. Digital transformation stands alongside inclusive education: Lessons learned from a project called “waking up in the morning”. **Technology, Knowledge and Learning**, 2023. Cited By 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85164196197&doi=10.1007%2fs10758-023-09667-5&partnerID=40&md5=3c37e02ab5945f0bfada44cd62984f6c>>.

- KHOIRUNNISA, A.; MUNIR, A.; DEWI, L. Design and prototype development of augmented reality in reading learning for autism. **Computers**, v. 12, n. 3, 2023. Cited By 2. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85150975329&doi=10.3390%2fcomputers12030055&partnerID=40&md5=0931263fade3b2866fb580ea68cbc1eb>>.
- KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **Keele, UK, Keele University**, Citeseer, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004.
- KUKULSKA-HULME, A. **Mobile learning as a catalyst for change**. [S.l.]: Taylor & Francis, 2010. 181–185 p.
- LAURILLARD, D. **Teaching as a design science: Building pedagogical patterns for learning and technology**. [S.l.]: Routledge, 2013.
- LEGISLACAO. **Legislação**. [S.l.]: Inclusão Já!, 2023. <<https://inclusaoja.com.br/legislacao/>>. Acessado: 2023-07-12.
- LIMA, I. B. P. et al. Características do transtorno do espectro autista e sua influência na aprendizagem: uma revisão integrativa. **Revista Sustinere**, v. 11, n. 1, p. 343–374, jul. 2023. ISSN 2359-0424. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/sustinere/article/view/63902>>.
- LOUREIRO, L. L. d. F.; AL. et. A importância da ludicidade na educação especial inclusiva. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 11, n. 6, p. 176–192, junho 2021. ISSN 2448-0959. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/especial-inclusiva>>.
- LUGARESI, C. et al. **MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines**. 2019.
- LV, Y.-B. et al. Multimodal integrated intervention for children with attention-deficit/hyperactivity disorder. **World Journal of Clinical Cases**, Baishideng Publishing Group Inc., v. 11, n. 18, p. 4267–4276, 2023.
- MACIEL, C. E.; ANACHE, A. A. A permanência de estudantes com deficiência nas universidades brasileiras 1. **Educar em Revista**, SciELO Brasil, p. 71–86, 2017.
- MACLNTYRE, B.; SMITH, T. F. Thoughts on the future of webxr and the immersive web. In: IEEE. **2018 IEEE international symposium on mixed and augmented reality adjunct (ISMAR-Adjunct)**. [S.l.], 2018. p. 338–342.
- MAENNER, M. J. et al. Prevalence and characteristics of autism spectrum disorder among children aged 8 years—autism and developmental disabilities monitoring network, 11 sites, united states, 2020. **MMWR Surveillance Summaries**, Centers for Disease Control and Prevention, v. 72, n. 2, p. 1, 2023.
- MARTINI, N. A. S. et al. A capacitação de profissionais da rede pública de ensino para a identificação dos sinais do transtorno do espectro autista (TEA). **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 16, n. 3, p. e3296, mar. 2024. ISSN 1989-4155, 1989-4155. Disponível em: <<https://ojs.europublications.com/ojs/index.php/ced/article/view/3296>>.

MASSA, M. de S. Ludicidade: da etimologia da palavra à complexidade do conceito. **Aprender-Caderno de filosofia e psicologia da educação**, n. 15, 2015.

MODI, S. **MediaPipe with custom tflite model**. 2021. Disponível em: <<https://blog.gofynd.com/mediapipe-with-custom-tflite-model-d3ea0427b3c1>>.

MONECHI, A. B.; GUISSO, L. O professor e a educação inclusiva: analisando a realidade escolar e formação com enfoque na perspectiva do desenho universal para a aprendizagem (DUA). **Kiri-Kerê - Pesquisa em Ensino**, v. 1, n. 10, jun. 2021. ISSN 2526-2688. Disponível em: <<https://periodicos.ufes.br/kirikere/article/view/33082>>.

MOTA, J. S. et al. Associar: Gamified process for the teaching of children with autism through the association of images and words. In: **2020 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–8.

MYERS, G. J.; SANDLER, C.; BADGETT, R. **The Art of Software Testing**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.

NASCIMENTO, F. C. d.; PORTES, R. M. L. A inclusão de pessoas com necessidades específicas na rede federal de educação profissional, científica e tecnológica, a partir da ação tec nep: uma reflexão atual. **Inclusão e diversidade: repensando saberes e fazeres na educação profissional, técnica e tecnológica. Jundiaí: Paco Editorial**, p. 2001–2007, 2016.

NASCIMENTO, M. I. C. et al. Manual diagnóstico e estatístico de transtornos mentais [recurso eletrônico]: Dsm-5/[american psychiatric association;; revisão técnica: Aristides volpato cordioli...[et al.]-. **Dados eletrônicos.–Porto Alegre: Artmed**, 2014.

PAULA, T. d. S. B. L. R. D. S. TRANSTORNO DE LINGUAGEM ASSOCIADO AO AUTISMO. out. 2023. ISSN 1678-0817. Disponível em: <<https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10056339>>.

PAVEL, H. R. et al. Automated system to measure static balancing in children to assess executive function. In: **Proceedings of the 15th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022. (PETRA '22), p. 569–575. ISBN 9781450396318. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3529190.3534750>>.

PEREIRA, A. d. S. et al. Revisão sistemática de estudos sobre tecnologia assistiva numa perspectiva de inclusão escolar. **Ensino e Tecnologia em Revista**, v. 7, n. 3, p. 39–55, out. 2023. ISSN 2594-3901. Disponível em: <<https://periodicos.ufrpr.edu.br/etr/article/view/16145>>.

PIECZARKA, T.; VALDIVIESO, T. V. Desenho Universal para Aprendizagem e a inclusão de estudantes com deficiência intelectual: uma revisão sistemática. **Revista Educação Especial**, v. 36, n. 1, p. e32/1–27, maio 2023. ISSN 1984-686X. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/educacaoespecial/article/view/67006>>.

PIMENTEL, M.; FILIPPO, D.; SANTOS, T. M. dos. Design science research: pesquisa científica atrelada ao design de artefatos. **RE@ D-Revista de Educação a Distância e eLearning**, v. 3, n. 1, p. 37–61, 2020.

P.SANTOS, M. Desenho Universal para a Aprendizagem. In: **DISLEXIA - NOVOS TEMAS NOVAS PERSPECTIVA**. [s.n.], 2015. Disponível em: <[https://www.academia.edu/24634089/Desenho\\_Universal\\_para\\_a\\_Aprendizagem](https://www.academia.edu/24634089/Desenho_Universal_para_a_Aprendizagem)>.

RESENDE, D. C. P. A importância da ludicidade na educação especial inclusiva. **Pedagogia em Ação**, v. 10, n. 2, p. 71–82, 2018.

SALGADO, N. D. M. et al. Transtorno do Espectro Autista em Crianças: Uma Revisão Sistemática sobre o Aumento da Incidência e Diagnóstico. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, p. e512111335748, out. 2022. ISSN 2525-3409. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/35748>>.

SALLORENZO, J. L. **Censo e a educação especial: inclusão ocorre em quantidade. E em qualidade?** 2023. Disponível em: <<https://www.sinprodf.org.br/alunos-de-educacao-especial-inclusao-ocorre-em-quantidade-e-em-qualidade/>>.

SANTANA, L. D.; PEREIRA, F. C. M.; MATTOS, M. C. d. Ideação de um repositório institucional baseado em periódico científico: Uso do design science research na ciência da informação. **RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, SciELO Brasil, v. 21, p. e023011, 2023.

SARTORETTO, C. d. a. d. M. L.; BERSCH, R. **Assistiva: Tecnologia e Educação**. 2024. Disponível em: <<https://www.assistiva.com.br/tassistiva.html>>.

SCHIRMER, L. et al. Sgat: Semantic graph attention for 3d human pose estimation. In: IEEE. **2021 34th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI)**. [S.l.], 2021. p. 255–262.

SCHIRMER, L. et al. A lightweight 2d pose machine with attention enhancement. In: IEEE. **2020 33rd SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI)**. [S.l.], 2020. p. 324–331.

SEABRA, M. A. B. o. e-book. **Distúrbios e transtornos de aprendizagem: aspectos teóricos, metodológicos e educacionais**. 1. ed. Curitiba: Bagai, 2020. Disponível em: <<https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/584716/2/Editora%20BAGAI%20-%20Dist%C3%BArbios%20e%20Transtornos%20de%20Aprendizagem.pdf>>.

SEBASTIÁN-HEREDERO, E. Diretrizes para o Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA). **Revista Brasileira de Educação Especial**, v. 26, p. 733–768, dez. 2020. ISSN 1413-6538, 1980-5470. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbee/a/F5g6rWB3wTZwyBN4LpLgv5C/>>.

SEIN, M. K. et al. Action design research. **MIS quarterly**, JSTOR, p. 37–56, 2011.

SENST, T.; EISELEIN, V.; SIKORA, T. li-ik—a real-time implementation for sparse optical flow. In: SPRINGER. **Image Analysis and Recognition: 7th International Conference, ICIAR 2010, Póvoa de Varzim, Portugal, June 21-23, 2010. Proceedings, Part I 7**. [S.l.], 2010. p. 240–249.

SILVA, G. P.; JUNIOR, J. G. M. DESENHO UNIVERSAL PARA APRENDIZAGEM: UMA REVISÃO DAS PRÁTICAS NO PERÍODO DE 2011-2019 / UNIVERSAL DESIGN FOR LEARNING: A REVIEW OF PRACTICES IN THE PERIOD 2011-2019. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 100953–100968, 2020. ISSN 25258761, 25258761. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/22002/17563>>.

SILVA, L. J. S. et al. Tensorpose: Real-time pose estimation for interactive applications. **Computers & Graphics**, Elsevier, v. 85, p. 1–14, 2019.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial, reissue of the third edition with a new introduction by John Laird**. [S.l.]: MIT press, 2019.

SONZA, A. P.; VILARONGA, C. A. R.; MENDES, E. G. Os napnes e o plano educacional individualizado nos institutos federais de educação. **Revista Educação Especial**, Universidade Federal de Santa Maria, v. 36, p. 1–24, 2020.

SOUZA, S. A. L. de; MOLINA, G. A ludicidade e a educação especial e o processo de inclusão em escolas regulares: Da obrigatoriedade aos desafios. **IVY ENBER SCIENTIFIC JOURNAL**, v. 3, n. 1, p. 20–60, 2023.

SUHR, J. K. Kanade-lucas-tomasi (klt) feature tracker. **Computer Vision (EEE6503)**, Yonsei University Seoul, Korea, p. 9–18, 2009.

TARNG, W.; PAN, I.-C.; OU, K.-L. Effectiveness of virtual reality on attention training for elementary school students. **Systems**, v. 10, n. 4, 2022. Cited By 3. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85136791464&doi=10.3390%2fsystems10040104&partnerID=40&md5=e7f73c45c6bfa7aeb44b32198ec28ed3>>.

TASNIM, R. A.; EISHITA, F. Z. Arcod: A serious gaming approach to measure cognitive distortions. In: **2022 IEEE 10th International Conference on Serious Games and Applications for Health(SeGAH)**. [S.l.: s.n.], 2022. p. 1–8.

VIDANARALAGE, A.; DHARMARATNE, A.; HAQUE, S. Ai-based multidisciplinary framework to assess the impact of gamified video-based learning through schema and emotion analysis. **Computers and Education: Artificial Intelligence**, v. 3, 2022. Cited By 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85142692401&doi=10.1016%2fj.caeai.2022.100109&partnerID=40&md5=18fcc2082e5b35f2d472f34dd96db3db>>.

VIEIRA, S. G. A ludicidade na educação especial e inclusiva. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 7, p. 712–718, jul. 2022. Disponível em: <<https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/6343>>.

VITALIANO, C. R.; PRAIS, J. L. d. S.; SANTOS, K. P. d. Desenho Universal para a Aprendizagem aplicado à promoção da educação inclusiva: uma revisão sistemática.

**Ensino em Re-Vista**, p. 805–827, out. 2019. ISSN 1983-1730. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/emrevista/article/view/50986>>.

VIZZOTTO, P. A. Inclusão na educação básica brasileira: Análise do censo escolar por meio dos microdados do inep. **Ensaio Pedagógico**, v. 4, n. 1, p. 102–112, 2020.

WEIGAND, H.; JOHANNESON, P.; ANDERSSON, B. An artifact ontology for design science research. **Data & Knowledge Engineering**, Elsevier, v. 133, p. 101878, 2021.

WIERINGA, R. J. **Design science methodology for information systems and software engineering**. [S.l.]: Springer, 2014.

ZHANG, F. et al. **MediaPipe Hands: On-device Real-time Hand Tracking**. 2020.

## A

### Resultados do Início da Pesquisa

Durante o início da pesquisa, foram conduzidos trabalhos em colaboração com o doutorando Luiz Schirmer (atualmente doutor e Professor da Unisinos) e o Prof. Hélio Lopes ambos do departamento de informática da PUC-Rio, e com o Prof. Luiz Velho do IMPA. Foram realizados experimentos visando criar um ambiente de serviços para a estimação de poses humanas, além de investigações sobre a viabilidade da estimação de poses humanas diretamente no navegador.

É importante salientar que os resultados apresentados a seguir não se encontram no contexto de soluções para auxiliar o desenvolvimento de aplicações voltadas à educação inclusiva, pois este contexto somente foi analisado posteriormente.

#### A.1

##### Pesquisa e desenvolvimento com estimação de poses humanas

Conforme informado anteriormente, o início desta pesquisa ocorreu através da parceria com pesquisadores da PUC-Rio e do IMPA, onde foram produzidos os seguintes trabalhos:

- **TensorPose: Real-time pose estimation for interactive applications** (SILVA et al., 2019): Neste trabalho, foram desenvolvidos o algoritmo, o framework e algumas aplicações interativas.
- **A lightweight 2D Pose Machine with attention enhancement** (SCHIRMER et al., 2020): Este trabalho foi focado no aumento de desempenho do nosso algoritmo.
- **SGAT: Semantic Graph Attention for 3D human pose estimation** (SCHIRMER et al., 2021): Neste trabalho foi desenvolvido o algoritmo para a estimação de poses humanas em contexto 3D. A validação visual dos resultados foi implementada diretamente na ferramenta Blender.

#### A.2

##### Pesquisa e desenvolvimento para o ambiente de serviços

Após a enumeração dos problemas identificados durante a pesquisa de estimação de poses humanas e a identificação das necessidades para abordá-los, deu-se início à pesquisa para o desenvolvimento de uma nova arquitetura.

Esta arquitetura foi concebida para possibilitar a adição de funcionalidades às soluções construídas sobre ela, disponibilizando tais funcionalidades na forma de microsserviços. A decisão de iniciar o desenvolvimento pela construção do ambiente de serviços foi baseada na experiência adquirida durante a implementação do framework no trabalho TensorPose(SILVA et al., 2019).

Uma vez que a proposta da nova arquitetura visava disponibilizar novas funcionalidades na forma de microsserviços, a escolha recaiu sobre o framework gRPC<sup>1</sup>, conhecido por ser especialmente adequado para esse propósito. Para os microsserviços de estimação de poses humanas, identificamos o framework MediaPipe como a solução mais apropriada.

Os primeiros experimentos consistiram na implementação de um serviço dedicado à estimação de poses das mãos, denominado Hands, utilizando a solução correspondente no MediaPipe. Nesses experimentos, uma imagem capturada por uma webcam é enviada para o servidor, que a encaminha para o serviço Hands. Como resultado, é gerado um desenho das mãos e dedos sobre a imagem original, conforme ilustrado na Figura A.1. Dois experimentos foram conduzidos nesse ambiente: o primeiro por meio de uma aplicação desktop e o segundo por meio de um web app, como detalhado nas seções subsequentes.

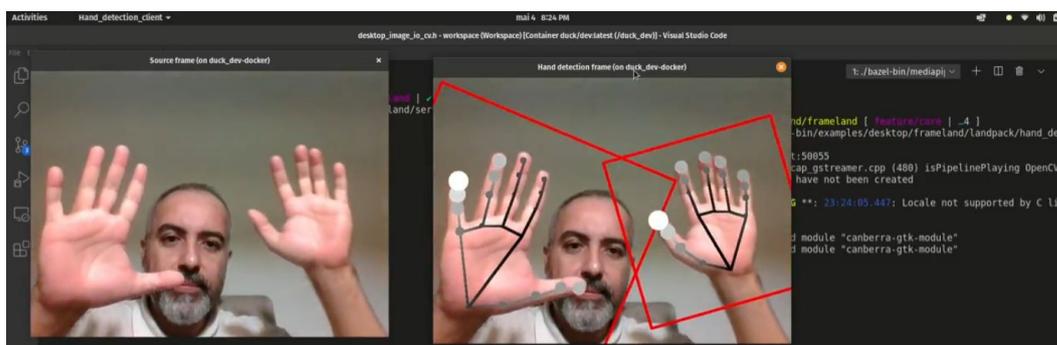


Figura A.1: Primeiros experimentos com a solução Hands do MediaPipe, onde a imagem capturada da pessoa enviada para o servidor é processada

### A.3 Serviço Hands com gRPC

Os primeiros experimentos consistiram na criação do serviço Hands, projetado para inferir as posições das mãos de uma pessoa a partir de imagens capturadas por uma webcam. Esse serviço foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação C++, tanto para o servidor quanto para o cliente, aproveitando a geração automática dos módulos de comunicação fornecidos pelo gRPC. A Figura A.2 demonstra o processo de comunicação entre o cliente e o servidor, enquanto a Figura A.3 apresenta a aplicação em execução.

<sup>1</sup><https://grpc.io/>

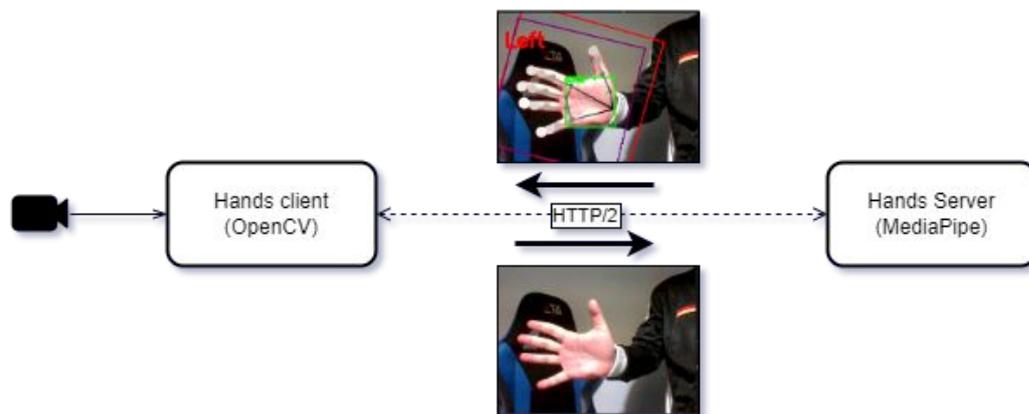


Figura A.2: Comunicação realizada sobre o protocolo HTTP/2 entre o cliente e o servidor do serviço Hands

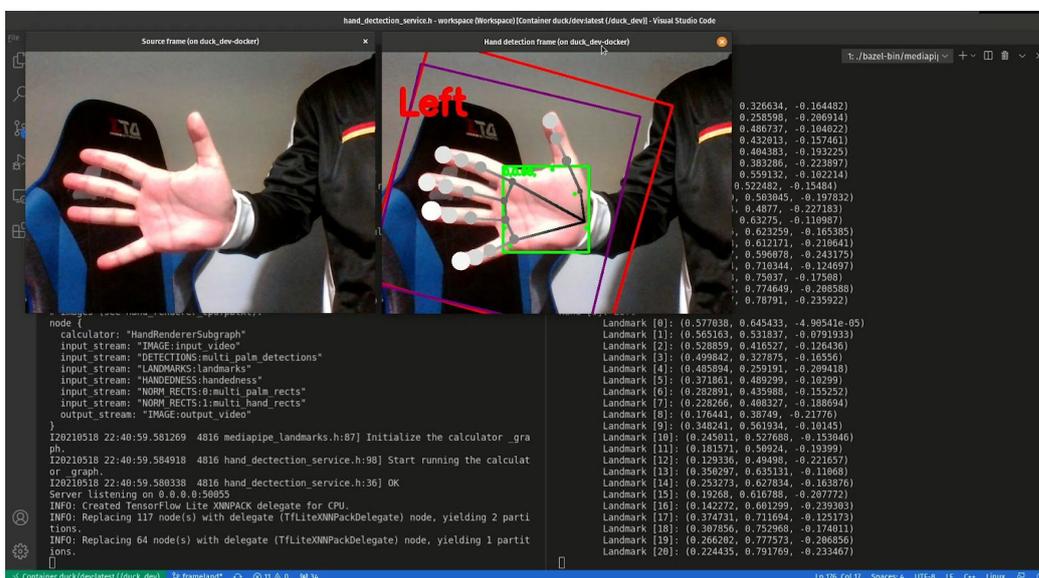


Figura A.3: Implementação do cliente e servidor do serviço Hands com gRPC em C++, onde a imagem capturada da pessoa enviada para o servidor é processada

#### A.4 Serviço Holistic com gRPC

Após a criação do serviço Hands, foi desenvolvido o serviço Holistic, que utiliza a solução Holistic do MediaPipe para inferir as posições das mãos, do rosto e dos keypoints de todo o corpo de uma pessoa a partir de imagens capturadas por uma webcam. Semelhante ao serviço Hands, a implementação deste serviço foi realizada em C++ tanto para o servidor quanto para o cliente, ambos beneficiados pela geração automática dos módulos de comunicação fornecidos pelo gRPC. A Figura A.4 ilustra o serviço em execução.

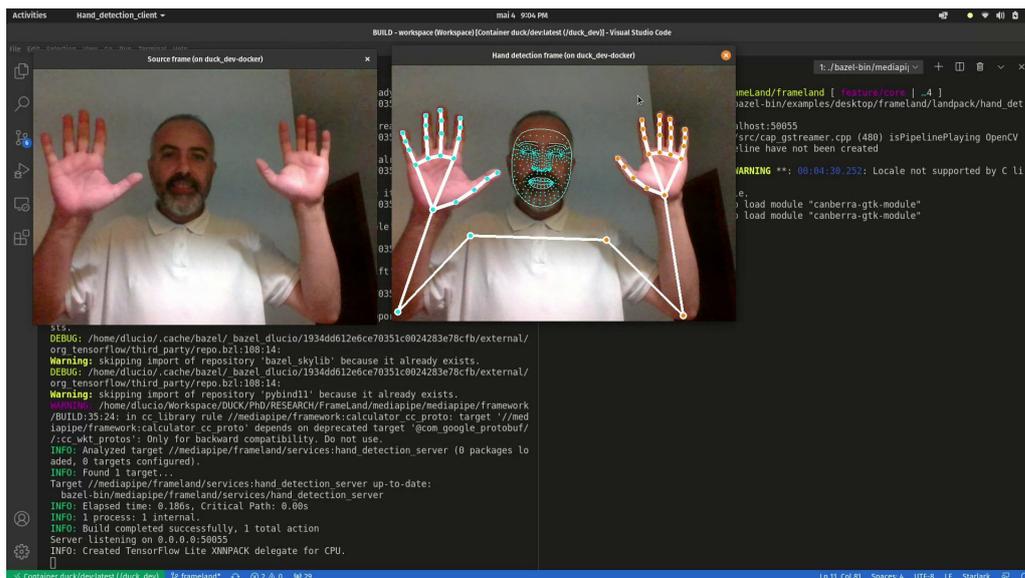


Figura A.4: Implementação do cliente e servidor do serviço Holistic com gRPC em C++, onde a imagem capturada da pessoa enviada para o servidor é processada

## A.5 Serviço Hands com WebRTC e gRPC

Após os experimentos bem-sucedidos com o cliente desktop, atingindo cerca de 30 fps para imagens de 640x480 pixels, iniciou-se a fase de testes com o cliente executado no navegador.

Devido à ausência de suporte dos navegadores ao controle necessário para o protocolo HTTP/2, o uso do gRPC no ambiente web requer a adoção da implementação gRPC-Web<sup>2</sup>. Esta solução permite que clientes gRPC sejam executados diretamente no navegador, abstraindo a complexidade da conexão entre cliente e servidor. No entanto, o cliente gerado pelo gRPC-Web necessita de um proxy para mediar a comunicação com o servidor. Esse proxy atua como intermediário entre o cliente e o servidor, facilitando a troca de dados entre as partes.

Considerando que a infraestrutura de desenvolvimento dos serviços adota o sistema de containers Docker<sup>3</sup>, a integração do proxy não representou uma complexidade significativa. No entanto, a inclusão desse componente na arquitetura de comunicação resultou em uma notável redução de desempenho, diminuindo de 30 para 10 quadros por segundo (fps). Diante dessa situação, iniciou-se uma investigação com o objetivo de explorar alternativas para mitigar esse problema.

<sup>2</sup><https://grpc.io/docs/platforms/web/>

<sup>3</sup><https://www.docker.com/>

Com base na experiência prévia com a API WebRTC, que é projetada para lidar com streaming de vídeo e áudio, a equipe optou por desenvolver um gateway personalizado. Esse gateway tem a função de intermediar o tráfego de streaming de vídeo e áudio entre o cliente no navegador (WebRPC) e o serviço Hands (gRPC), conforme ilustrado na Figura A.5.

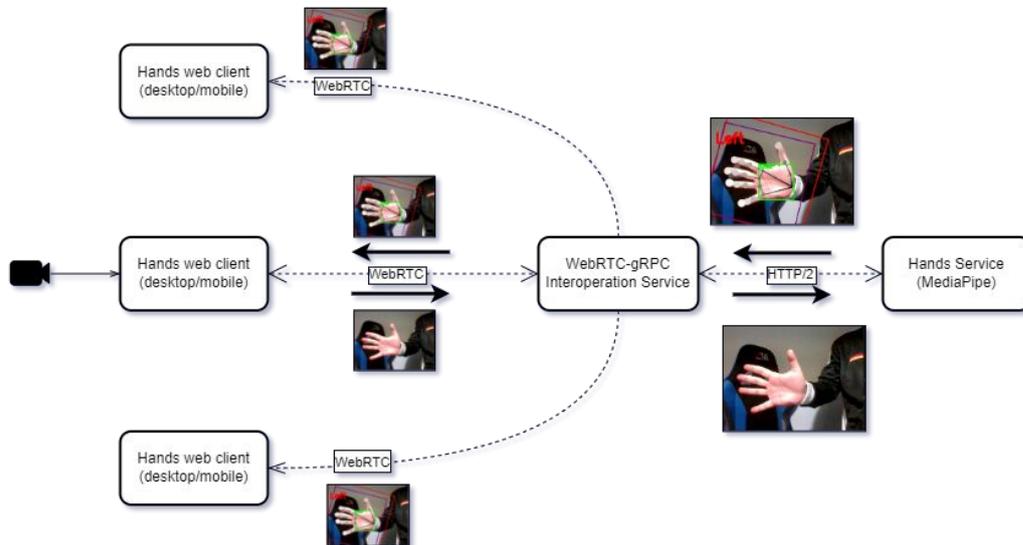


Figura A.5: Serviço de interoperabilidade que permite o envio de streaming de vídeo através de WebRTC para ser processado em serviço que utiliza gRPC, onde os resultados são transmitidos para outros clientes que estejam conectados ao serviço de interoperabilidade.

A decisão de desenvolver uma solução própria decorreu da falta de uma implementação simples que atendesse precisamente às necessidades identificadas, especialmente em relação ao tráfego de vídeo entre essas tecnologias. O desenvolvimento do gateway não representou uma complexidade significativa, e embora os resultados tenham ficado aquém das expectativas, o tráfego entre a aplicação no navegador e o gateway alcançou 60 fps em uma rede Wi-Fi de 2.4GHz. A conversão dos frames do vídeo para o serviço Hands foi praticamente instantânea, e os 30 fps foram mantidos entre o gateway e o serviço, devido à semelhança na estrutura de comunicação entre o gateway e o serviço Hands e entre as aplicações gRPC no desktop. Diante do desempenho melhor do que o esperado, foram realizados testes mais elaborados, nos quais o streaming de vídeo foi processado e os resultados foram transmitidos não apenas para o transmissor, mas também para qualquer usuário conectado ao gateway, conforme demonstrado na Figura A.6. Os resultados obtidos foram altamente satisfatórios e abriram possibilidades para diversas aplicações potenciais, incluindo realidade virtual ou aumentada com dispositivos de baixo custo para visualização.

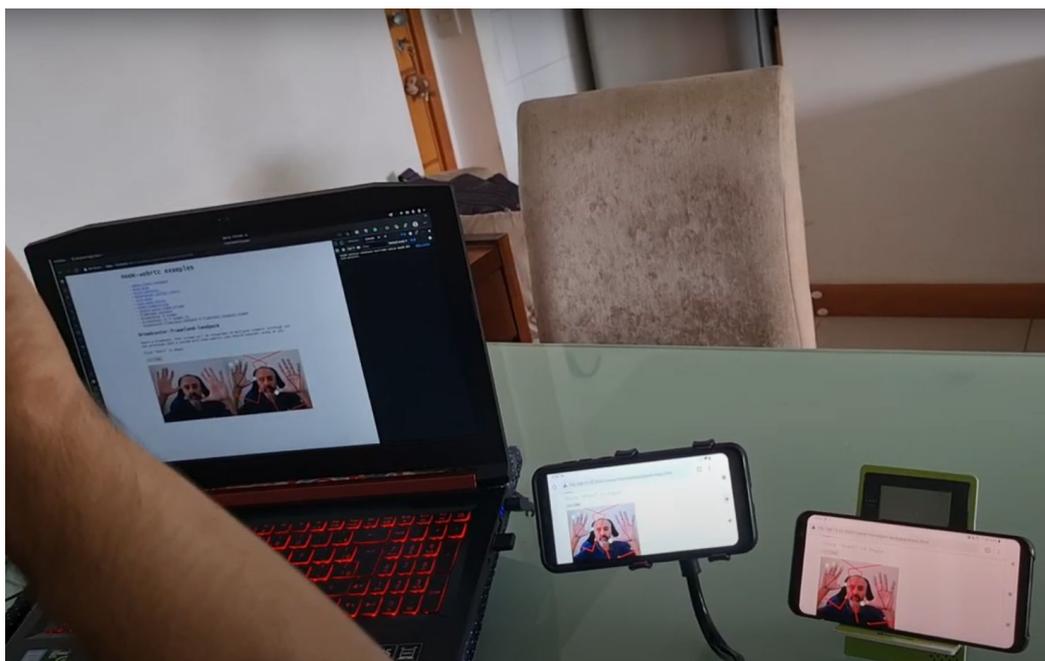


Figura A.6: Serviço de interoperabilidade que permite o envio de streaming de vídeo através de WebRTC para ser processado em serviço que utiliza gRPC, onde os resultados são transmitidos para outros clientes que estejam conectados ao serviço de interoperabilidade.

## A.6 Estimação de poses no navegador

Paralelamente à pesquisa sobre o ambiente de serviços, foi conduzida uma investigação sobre a viabilidade de realizar a estimação de poses diretamente no navegador. Durante esse processo, foram testados os algoritmos disponíveis para plataformas web que representavam o estado da arte na época. Os resultados desses experimentos culminaram nos projetos apresentados a seguir.

### A.6.1 Captura dos movimentos das mãos

No início das pesquisas sobre estimação de poses humanas diretamente no navegador, após uma discussão com uma professora sobre a aplicabilidade dessas poses em contextos educativos, uma aplicação básica foi implementada sob o nome de Lateralidade[44]. Conforme orientação da professora, a compreensão do conceito de lateralidade requer uma variedade de atividades para o desenvolvimento das crianças, consistindo essencialmente na percepção de direções como esquerda e direita. Esta conversa foi o primeiro passo em direção ao uso da nova arquitetura para aplicações sérias no contexto da educação inclusiva.

O objetivo da aplicação é posicionar uma imagem de uma mão direita em vermelho sobre a mão direita do usuário e uma imagem de uma mão esquerda em azul sobre a mão esquerda do usuário, utilizando as posições dos pulsos inferidos pelo modelo PoseNet, conforme ilustrado na Figura A.7. Embora seja uma abordagem simples, esse experimento demonstra como o uso de algoritmos de aprendizado de máquina pode contribuir para a criação de aplicações lúdicas, promovendo maior engajamento dos usuários em atividades desse tipo.



Figura A.7: Aplicação Lateralidade, onde as posições dos pulsos inferidas pelo modelo PoseNet são utilizadas para posicionar imagens de mãos sobre as mãos do usuário

## A.6.2 Projeto Pose Tracking

Para explorar mais profundamente o modelo PoseNet, foi desenvolvido o projeto Pose Tracking, com o objetivo de realizar o rastreamento e a identificação da pose de várias pessoas em tempo real no navegador.

O projeto foi desenvolvido com base em um conjunto de bibliotecas, incluindo a `ml5.js`<sup>4</sup>, que proporciona acesso ao PoseNet<sup>5</sup>, um modelo de aprendizado de máquina usado para estimar poses de pessoas em tempo real no navegador, utilizando o framework `TensorFlow.js`<sup>6</sup>. Para a interface com o usuário, foram utilizadas as bibliotecas `p5.js`<sup>7</sup> e `dat.gui`<sup>8</sup>. Além disso, para

<sup>4</sup><https://ml5js.org/>

<sup>5</sup><https://blog.tensorflow.org/2018/05/real-time-human-pose-estimation-in.html>

<sup>6</sup><https://www.tensorflow.org/js>

<sup>7</sup><https://p5js.org>

<sup>8</sup><https://www.npmjs.com/package/dat.gui>

certos experimentos, a biblioteca OpenCV.js<sup>9</sup> foi empregada, como ilustrado na Figura A.8.

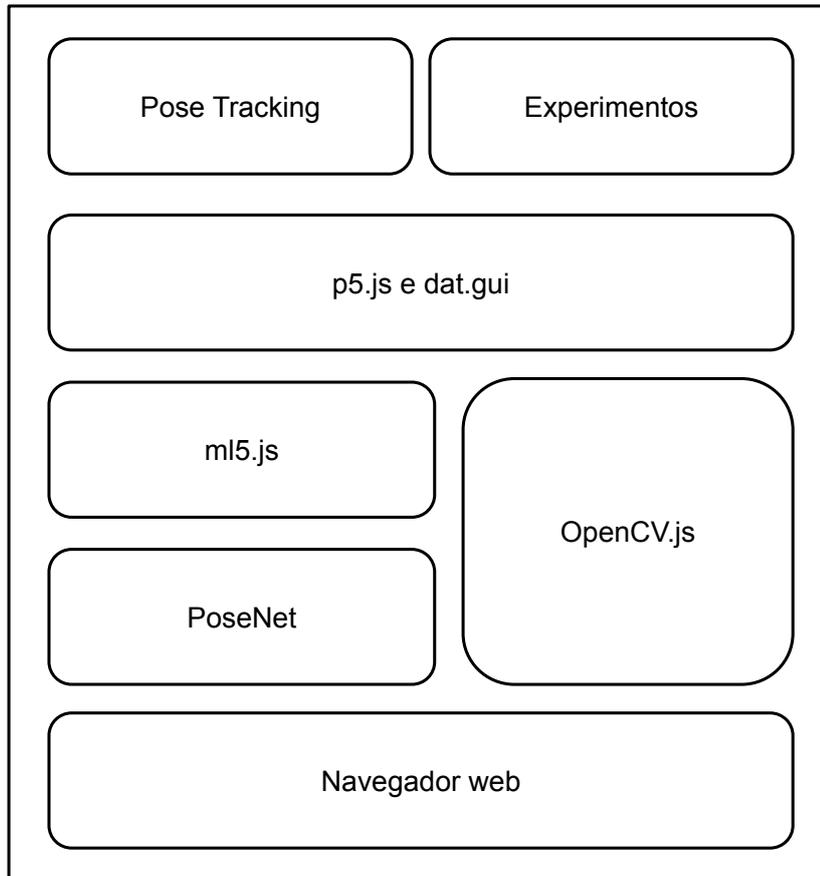


Figura A.8: Projeto Pose Tracking, onde o modelo PoseNet é utilizado para rastrear e identificar a pose de várias pessoas em tempo real no navegador

No projeto, o componente Pose Tracking faz uso do modelo PoseNet, por meio da biblioteca ml5.js, para detectar a pose das pessoas presentes na cena. Para o rastreamento e identificação de cada pose detectada, é empregado o algoritmo Centroid Tracking, adaptado para Javascript com base na publicação "Simple object tracking with OpenCV" do blog PyImageSearch<sup>10</sup>. Esse algoritmo, conhecido como Centroid Tracking, calcula a distância euclidiana entre (1) centróides de objetos previamente detectados, ou seja, objetos que o algoritmo já havia identificado anteriormente, e (2) novos centróides de objeto em frames subsequentes de um vídeo.

As seguintes tarefas, que estão ilustradas na Figura A.9, são realizadas pelo projeto Pose Tracking:

- Captura a imagem a partir da webcam ou de um vídeo;

<sup>9</sup><https://opencv.org/get-started/>

<sup>10</sup><https://www.pyimagesearch.com/2018/07/23/simple-object-tracking-with-opencv/>

- Detecta as poses usando o modelo PoseNet;
- Faz o rastreamento das poses utilizando o algoritmo Centroid Tracking;
- Desenha os keypoints, esqueleto e as bounding boxes sobre a imagem capturada;

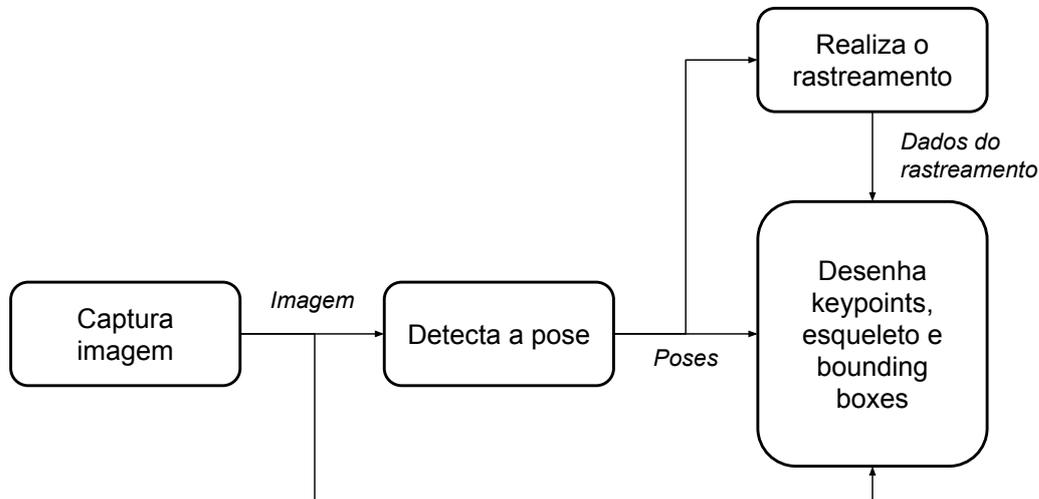


Figura A.9: Tarefas realizadas pelo projeto Pose Tracking

Foram conduzidos diversos experimentos com o intuito de avaliar a eficácia de diferentes algoritmos de rastreamento de objetos no contexto da plataforma web. Os experimentos realizados incluíram:

- **OpenCV: Meanshift & Camshift**  
Este experimento utiliza os algoritmos de rastreamento Meanshift(CHENG, 1995) e Camshift(ALLEN et al., 2004) fornecidos pela biblioteca OpenCV.js.
- **OpenCV: Kanade-Lucas-Tomasi Optical Flow**  
O experimento realiza o rastreamento utilizando sparse optical flow(SENST; EISELEIN; SIKORA, 2010) através do método Kanade-Lucas-Tomasi(SUHR, 2009) fornecido pela biblioteca OpenCV.js.
- **PoseNet**  
Neste experimento são testados os diversos parâmetros utilizados pelo modelo PoseNet disponibilizado pela biblioteca ml5.js.
- **PoseShift**  
O experimento é a integração entre os experimentos OpenCV: Meanshift & Camshift e PoseNet.
- **PoseFlow**  
O experimento é a integração entre os experimentos OpenCV: Kanade-Lucas-Tomasi Optical Flow e PoseNet.

### A.6.3 Dummy Motion Capture

Com o objetivo de conduzir experimentos utilizando o modelo BlazePose(BAZAREVSKY et al., 2020) do framework MediaPipe para inferir os keypoints do corpo humano com coordenadas 3D e avaliar sua robustez, foi desenvolvido o projeto denominado Dummy Motion Capture.

O propósito do projeto é investigar a viabilidade de criar uma animação de forma natural a partir da inferência de poses de bonecas ou figuras com características humanas, como a boneca Barbie. As poses inferidas são transferidas para o esqueleto de um modelo 3D, onde podem ser usadas como keyframes para gerar uma animação. Os resultados obtidos foram satisfatórios, conforme ilustrado na Figura A.10.

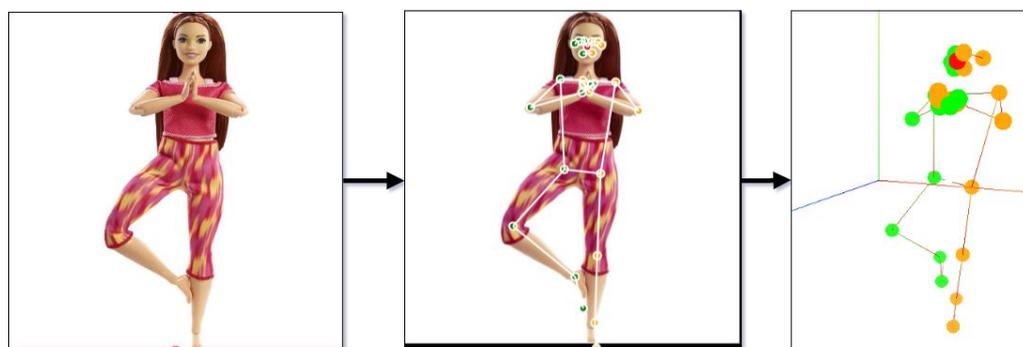


Figura A.10: Resultado da inferência dos keypoints com coordenadas 3D de uma boneca, usando o modelo de estimação de pose BlazePose do framework MediaPipe, sendo executado diretamente no navegador

### A.6.4 Captura Facial

Com base na experiência prévia com soluções do MediaPipe e nos resultados satisfatórios obtidos, a equipe optou por realizar experimentos com a solução Face Mesh. O objetivo era transferir as expressões faciais de uma pessoa para um modelo 3D, utilizando a malha inferida pelo modelo da Face Mesh. No entanto, a aplicação das transformações da malha inferida em um modelo 3D para gerar as animações faciais é uma tarefa altamente complexa, requerendo a criação de blendshapes(JOSHI et al., 2006), essenciais para a geração dessas animações. Diante dessa complexidade, foram pesquisados trabalhos semelhantes, com destaque para o da startup Hallway<sup>11</sup>, que fornece um SDK para Javascript. O acesso à API desse SDK requer um token, concedido à equipe para uso na pesquisa. O resultado da adaptação do exemplo

<sup>11</sup><https://joinhallway.com/>

disponibilizado com o SDK, utilizando os modelos gerados pelo serviço Ready Player Me<sup>12</sup>, pode ser observado na Figura A.11. O exemplo demonstra a eficácia da solução para a captura de expressões faciais em tempo real, bem como a viabilidade de sua integração com modelos 3D para a geração de animações faciais em tempo real no navegador

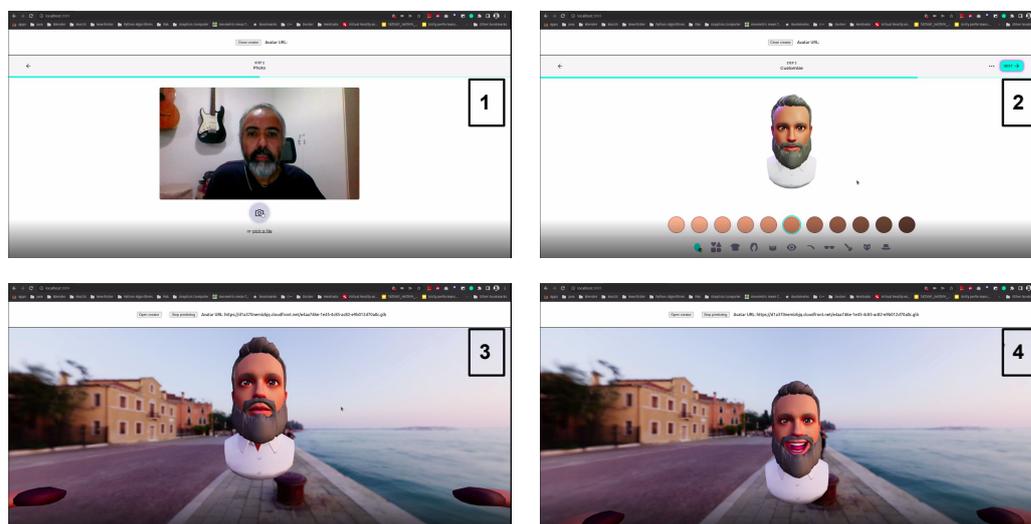


Figura A.11: RAplicação implementada com o SDK da Hallway: (1) Captura imagem do rosto da pessoa; (2) Modelo gerado a partir da captura; (3) Modelo adicionado na cena 3D; (4) Modelo sendo animado a partir das informações do Face Mesh do MediaPipe.

## A.7 Considerações Finais

Os experimentos realizados durante o início da pesquisa demonstraram a viabilidade tanto da estimação de poses humanas diretamente no navegador quanto da criação de um ambiente de serviços para essa finalidade. Os resultados obtidos com o ambiente de serviços ressaltaram a eficácia da arquitetura proposta na criação de microsserviços dedicados à estimação de poses humanas. Um dos resultados mais significativos foi a integração bem-sucedida entre o serviço Hands e o WebRTC, permitindo o envio de streaming de vídeo para processamento em um serviço que utiliza gRPC. Essa solução abre caminho para diversas aplicações potenciais, incluindo realidade virtual ou aumentada com dispositivos de baixo custo para visualização. A investigação sobre a estimação de poses humanas diretamente no navegador resultou em diversos projetos, como o Lateralidade, Pose Tracking, Dummy

<sup>12</sup><https://readyplayer.me/>

Motion Capture e Captura Facial, evidenciando a eficácia dos algoritmos de aprendizado de máquina para essa finalidade em tempo real no navegador.