UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

LUCIANA ROCHA PALHANOS

Percepção e Aceitação de Ferramentas Digitais de Apoio ao Reconhecimento de Texto Manuscrito Cursivo

NITERÓI

2026

LUCIANA ROCHA PALHANOS

Percepção e Aceitação de Ferramentas Digitais de Apoio ao Reconhecimento de Texto Manuscrito Cursivo

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Computação. Área de concentração: Ciência da Computação

Orientador:
Dr. José Viterbo Filho

Coorientador:
Dra. Aura Conci

NITERÓI

2026

Ficha catalográfica automática - SDC/BCPV
Gerada com informações fornecidas pelo autor

P153p Palhanos, Luciana Rocha
Percepção e Aceitação de Ferramentas Digitais de Apoio ao Reconhecimento de Texto Manuscrito Cursivo / Luciana Rocha Palhanos. - 2026.
165 f.: il.

Orientador: José Viterbo Filho.
Coorientador: Aura Conci.
Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense, Instituto de Computação, Niterói, 2026.

1. Escrita Manuscrita. 2. Reconhecimento de Palavra. 3. Realidade Virtual. 4. Interação Humano-Computador. 5. Produção intelectual. I. Viterbo Filho, José, orientador. II. Conci, Aura, coorientadora. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Computação. IV. Título.

CDD - XXX

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

LUCIANA ROCHA PALHANOS

Percepção e Aceitação de Ferramentas Digitais de Apoio ao Reconhecimento de Texto Manuscrito Cursivo

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Computação. Área de Concentração: Ciência da Computação.

Aprovada em setembro de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Viterbo - Orientador, UFF

Profa. Dra. Aura Conci - Coorientadora, UFF

Profa. Dra. Daniela Trevisan, UFF

Prof. Dr. Cristiano Maciel, UFMT

Niterói

2026

“Goste do que faz, e então você fará o seu melhor.”

— Katherine Johnson

Dedico essa dissertação aos meus pais (Eliza e José),
à minha irmã (Monica) e aos meus amados gatos,
em especial, ao meu saudoso Michel.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus por me permitir chegar até aqui.

A caminhada não foi fácil, mas sou grata também por cada NÃO e desencorajamento que recebi, pois cada um deles serviu de ”trampolim para eu pular cada vez mais alto”.

Agradeço aos meus amados pais Eliza Rocha Palhanos e José Palhanos Filho por todo apoio que me deram e a minha amada irmã Monica Rocha Palhanos que não mediu esforços para me ajudar no que fosse necessário.

Agradeço aos meus amados gatos pela companhia silenciosa e amorosa, que me proporcionou calma e tranquilidade nos momentos mais difíceis.

Agradeço à querida professora coorientadora Aura Conci que foi a primeira pessoa da Computação que me ”estendeu a mão” e acreditou no meu potencial, mesmo eu sendo bacharel em Letras. E, como se já não bastasse, colocou no meu caminho o professor José Viterbo Filho, meu querido orientador, a quem sou muito grata e que põe em prática o verdadeiro significado de ser PROFESSOR.

Agradeço a todos os professores que me ensinaram novos conhecimentos e me ajudaram com as minhas dificuldades relacionadas à dislexia.

Agradeço aos colegas e amigos que me incentivaram e me deram ânimo para seguir em frente.

Agradeço à CAPES pela bolsa que recebi, pois sem ela, teria sido muito difícil ter seguido no mestrado.

Agradeço a todos do Instituto de Computação da UFF, desde os seguranças, faxineiros, funcionários da secretaria até a coordenação, em especial o professor Alexandre Plastino de Carvalho e a professora Débora Christina Muchaluat Saade que sempre foram solícitos quando precisei.

Por fim, agradeço a todos os voluntários que participaram dos experimentos que contribuíram para que essa dissertação se concretizasse.

Resumo

O Reconhecimento de Texto Manuscrito (HTR) depende de bases de dados representativas da diversidade da escrita manuscrita, mas obter, transcrever e validar manuscritos cursivos demanda tempo, recursos humanos e procedimentos que garantam qualidade. Diante da escassez de estratégias éticas e naturais de coleta de dados para HTR cursivo, esta pesquisa investiga como professores e educadores da Educação Básica percebem a interação com ferramentas digitais que integram atividades de alfabetização a princípios de crowdsourcing e à lógica do reCAPTCHA. Parte-se da premissa de que atividades de alfabetização podem servir como mecanismo de interação e, futuramente, gerar colaborativamente dados para treinar modelos de HTR cursivo. A metodologia seguiu uma abordagem incremental. Inicialmente, um estudo exploratório com o Tesseract OCR (versão 4.1.1) e o OpenCV, aplicados a 70 palavras em letra bastão escritas por dez adultos, mostrou que apenas 21,4% foram totalmente reconhecidas, evidenciando as limitações do reconhecimento óptico convencional e reforçando a necessidade de estratégias alternativas. Em seguida, um levantamento da literatura, apresentado como trabalhos relacionados, identificou lacunas científicas e fundamentou a proposição das ferramentas. Foram desenvolvidos dois artefatos: o App *Manu*, protótipo que incorpora uma atividade de transcrição de palavras cursivas e princípios de gamificação, e a *Sala 360A*, ambiente imersivo de Realidade Virtual (RV), evolução da proposta. A avaliação foi organizada em dois estudos com professores e educadores da Educação Básica, por questões de ética. No primeiro, cinco participantes avaliaram o App *Manu* pelo System Usability Scale (SUS); no segundo, vinte avaliaram a *Sala 360A* por questionário inspirado no Technology Acceptance Model (TAM). Em ambos, uma entrevista individual, gravada em áudio e transcrita, complementou os dados do questionário. Os resultados indicam avaliação positiva das duas ferramentas, com SUS de 74,0 no App *Manu* e $\alpha = 0{,}903$ no questionário da *Sala 360A*, e percepção favorável quanto à interação, à usabilidade e ao potencial pedagógico, sobretudo pelo caráter lúdico. Como melhorias, apontaram-se falhas de navegação no protótipo, problemas de foco e desconforto visual na RV e objetos do cenário sem interatividade. Dado o tamanho das amostras, a participação exclusiva de adultos e a simulação da coleta colaborativa, os achados são preliminares.

Palavras-chave: Reconhecimento de Texto Manuscrito (HTR). Crowdsourcing. Interação Humano-Computador (IHC). Realidade Virtual (RV). Usabilidade. Alfabetização.

Abstract

Handwritten Text Recognition (HTR) depends on datasets that are representative of the diversity of handwriting, but obtaining, transcribing, and validating cursive manuscripts requires time, human resources, and procedures that ensure quality. Given the scarcity of ethical and natural data collection strategies for cursive HTR, this research investigates how teachers and educators from Basic Education perceive the interaction with digital tools that integrate literacy activities with crowdsourcing principles and the logic of reCAPTCHA. The research stems from the premise that literacy activities can serve as an interaction mechanism and, in the future, collaboratively generate data to train cursive HTR models. The methodology followed an incremental approach. First, an exploratory study using Tesseract OCR (version 4.1.1) and OpenCV, applied to 70 block-letter words written by ten adults, showed that only 21.4% were fully recognized, highlighting the limitations of conventional optical recognition and reinforcing the need for alternative strategies. Next, a literature survey, presented as related work, identified scientific gaps and grounded the proposed tools. Two artifacts were then developed: the *Manu* App, a prototype that incorporates a cursive word transcription activity and gamification principles, and the *Sala 360A*, an immersive Virtual Reality (VR) environment, an evolution of the proposal. The evaluation was organized into two studies with Basic Education teachers and educators, due to ethical considerations. In the first, five participants evaluated the *Manu* App using the System Usability Scale (SUS); in the second, twenty evaluated the *Sala 360A* using a questionnaire inspired by the Technology Acceptance Model (TAM). In both, an individual interview, audio-recorded and transcribed, complemented the questionnaire data. The results indicate a positive evaluation of both tools, with a SUS score of 74.0 for the *Manu* App and $\alpha = 0{,}903$ for the *Sala 360A* questionnaire, and a favorable perception of interaction, usability, and pedagogical potential, especially due to their playful nature. Improvements pointed out by participants include navigation failures in the prototype, focus problems and visual discomfort in VR, and scenery objects without interactivity. Given the sample sizes, the exclusive participation of adults, and the simulated nature of the collaborative data collection, the findings should be considered preliminary.

Keywords: Handwritten Text Recognition (HTR). Crowdsourcing. Human-Computer Interaction (HCI). Virtual Reality (VR). Usability. Literacy.

Lista de ilustrações

Fig. 1 Organização das seções da dissertação. 21
Fig. 2 Fluxo metodológico da pesquisa. 40
Fig. 3 Amostra com palavras manuscritas em letra bastão. 47
Fig. 4 Amostra com a palavra ABACAXI manuscrita em letra bastão. 48
Fig. 5 Letra I com maior número de interpretações erradas. 51
Fig. 6 R, 4 e 2 no lugar de B, A e Z. 52
Fig. 7 Diagrama do fluxo de seleção PRISMA. 57
Fig. 8 Fluxo lógico da abordagem proposta. 65
Fig. 9 Tela inicial do protótipo do aplicativo *Manu*. 67
Fig. 10 Tela da instrução da atividade. 68
Fig. 11 Telas da sala de estudo com a lousa escrita e teclado. 69
Fig. 12 Telas de feedback visual. 70
Fig. 13 Telas com o progresso, feedback visual e ranking. 71
Fig. 14 Smartphone acoplado aos óculos VR. 76
Fig. 15 Vista da sala ao entrar. 77
Fig. 16 Lousa, palavra ninho e teclado. 78
Fig. 17 Lousa com estrela contente. 79
Fig. 18 Lousa com estrela triste. 79
Fig. 19 Tela do smartphone no modo normal. 82
Fig. 20 Modo de visualização em RV ativado. 83
Fig. 21 Cursor central (gaze) utilizado para seleção no ambiente. 83
Fig. 22 Par de pegadas. 84
Fig. 23 Mão direita. 84
Fig. 24 Distribuição das respostas aos itens do questionário ($N = 20$). 92
Fig. 25 Tela do App *Lili*. 112
Fig. 26 Parede oposta à lousa. 133
Fig. 27 Parede com parede de escalada. 134
Fig. 28 Parede de escalada. 135
Fig. 29 Vista de cima para o tatame. 135
Fig. 30 Vista de cima da sala. 136

Fig. 31 Quebra-cabeça sobre tatame de EVA colorido. 136
Fig. 32 Vista para janela. 137
Fig. 33 Paredes com jogos. 137
Fig. 34 Canto com jogos. 138
Fig. 35 Jogo Twister. 138
Fig. 36 Parede de frente para a de escala. 139
Fig. 37 Teto da sala com luminária em formato de sol. 139

Lista de Tabelas

Tabela1 Ferramentas utilizadas ao longo da pesquisa. 43
Tabela2 Ambiente e parâmetros do experimento exploratório 49
Tabela3 Resultados quantitativos do experimento exploratório com Tesseract. . . 50
Tabela4 Artigos incluídos no escopo final do levantamento 58
Tabela5 Comparação entre os trabalhos relacionados e a abordagem proposta. . . 61
Tabela6 Síntese dos pontos fortes e aspectos a aprimorar na avaliação do App *Manu*. 88
Tabela7 Resultados do questionário de avaliação do App *Manu*. 88
Tabela8 Estatísticas descritivas dos itens do questionário inspirado no TAM (N = 20). 91
Tabela9 Síntese dos pontos fortes e aspectos a aprimorar na avaliação da *Sala 360A*. 93
Tabela10 Artigos excluídos da base *Web of Science* por critério de elegibilidade. . 124
Tabela11 Artigos excluídos da base *IEEE Xplore Digital Library* por critério de elegibilidade. 125
Tabela12 Respostas dos participantes sobre os pontos positivos e negativos do App *Manu*. 150
Tabela13 Perfil e Respostas dos participantes às perguntas abertas sobre a *Sala 360A*. 152

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 Problema de pesquisa . . . 15
1.2 Objetivos . . . 16
1.3 Metodologia . . . 17
1.4 Justificativa da pesquisa . . . 18
1.5 Organização . . . 20

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 22
2.1 OCR e HTR . . . 22
2.2 Crowdsourcing e Inteligência Coletiva . . . 25
2.3 reCAPTCHA: Tecnologia e Aplicação Pedagógica . . . 26
2.4 Realidade Virtual: Definição, Aplicações e Potencial Pedagógico . . . 27
2.5 Ambiente 360°: Definição, Características e Vantagens na Educação . . . 28
2.6 A-Frame: Framework para Desenvolvimento de Ambientes Virtuais Educacionais 30
2.7 Domínio de Aplicação . . . 32
2.7.1 Fases da Alfabetização: Da Letra Bastão à Cursiva . . . 32
2.7.2 Tecnologias Digitais no Apoio à Alfabetização . . . 33
2.7.3 Ambientes Virtuais de Aprendizagem . . . 35

3 METODOLOGIA 37
3.1 Caracterização da Pesquisa . . . 37
3.2 Estratégia Metodológica . . . 39
3.3 Tratamento Ético e Manejo dos Dados . . . 41
3.3.1 Conformidade Ética e Consentimento com Educadores . . . 41
3.3.2 Privacidade, Anonimização e Segurança das Informações . . . 42
3.3.3 Diretrizes Éticas, Ausência de Coleta Real e Proteção ao Público Infantil . . . 42
3.3.4 Síntese da Viabilidade Ética . . . 43
3.4 Estratégias de análise dos dados . . . 43
3.4.1 Análise quantitativa . . . 44
3.4.2 Análise qualitativa . . . 45

3.5 Uso de Inteligência Artificial Generativa 45

4 EXPERIMENTO EXPLORATÓRIO 46
4.1 Procedimentos metodológicos 46
4.1.1 Critério de avaliação 49
4.2 Resultados 50
4.3 Discussão dos achados 51
4.4 Síntese e implicações para a pesquisa 52

5 TRABALHOS RELACIONADOS 54
5.1 Procedimentos metodológicos 54
5.1.1 Questões de Pesquisa e Modelo PICOC 55
5.1.2 Bases de Dados, Termos de Pesquisa e Critérios 55
5.1.3 Processo e Fluxo de Seleção 56
5.2 Resultados 57
5.2.1 Descrição Geral dos Estudos Selecionados 58
5.2.2 Técnicas de Aprendizado Profundo Identificadas 58
5.2.3 Pré-processamento, Segmentação e Aumento de Dados 59
5.3 Discussão dos achados 59
5.4 Síntese e implicações para a pesquisa 60
5.4.1 Posicionamento da abordagem em relação aos trabalhos relacionados 60
5.4.2 Síntese das Questões de Pesquisa 61

6 ARTEFATOS DESENVOLVIDOS: APP *MANU* E *SALA 360A* 63
6.1 Visão Geral da Abordagem Proposta 63
6.1.1 Síntese das etapas metodológicas da pesquisa 64
6.1.2 Fluxo geral da abordagem proposta 64
6.2 App *Manu* 66
6.2.1 Desenvolvimento do App *Manu* 66
6.2.2 Integração da lógica do reCAPTCHA e da inteligência coletiva 71
6.2.3 Avaliação do App *Manu* 72
6.3 *Sala 360A* 75
6.3.1 Desenvolvimento da *Sala 360A* 75
6.3.2 Avaliação da *Sala 360A* 80

7 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO 85
7.1 Considerações iniciais 85

7.2 Resultados do App *Manu* 86
7.2.1 Síntese dos resultados obtidos com o App *Manu* 89
7.3 Resultados da *Sala 360A* 90
7.3.1 Síntese dos resultados obtidos com a *Sala 360A* 93
7.4 Integração dos resultados 94

8 DISCUSSÃO 96
8.1 Discussão da abordagem proposta à luz da literatura 97
8.1.1 Crowdsourcing para o enriquecimento de bases de dados para HTR 99
8.1.2 Tecnologias digitais no contexto da alfabetização 100
8.1.3 Ambientes virtuais imersivos como plataforma para a abordagem 102
8.2 Abordagem proposta no contexto educacional 103
8.3 Potencial da abordagem para o enriquecimento colaborativo de bases de dados para HTR 105
8.4 Contribuições científicas e sociais 106
8.5 Inteligência Artificial Generativa e o cenário do HTR 107
8.6 Limitações da pesquisa 108
8.7 Perspectivas de evolução da abordagem 110

9 CONCLUSÃO 114
9.1 Síntese das contribuições 114
9.2 Limitações 115
9.3 Perspectivas futuras 116

REFERÊNCIAS 118

Apêndice A – ARTIGOS EXCLUÍDOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA 124
A.1 Artigos excluídos da base Web of Science 124
A.2 Artigos Excluídos da Base IEEE Xplore Digital Library 125

Apêndice B – PESQUISA DE USABILIDADE SOBRE O APP *MANU* (SUS) 126

Apêndice C – TRANSCRIÇÃO DA ENTREVISTA SOBRE O APP *MANU* 130

Apêndice D – REGISTRO VISUAL DA *SALA 360A* 133

Apêndice E – PESQUISA DE USABILIDADE SOBRE A *SALA 360A* (TAM) 141

Apêndice F – TRANSCRIÇÃO DA ENTREVISTA SOBRE A *SALA 360A* 146

Apêndice G – RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS ABERTAS SOBRE O APP *MANU* **149**

Apêndice H – PERFIL E RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS ABERTAS SOBRE A *SALA 360A* **151**

1 INTRODUÇÃO

A alfabetização constitui uma das etapas mais determinantes do desenvolvimento cognitivo infantil, representando não apenas a aquisição de competências básicas de leitura e escrita, mas também um contexto particularmente relevante para pesquisas que integram educação e computação. Durante esse processo, crianças realizam continuamente atividades de leitura e escrita, especialmente envolvendo palavras manuscritas, criando oportunidades para o desenvolvimento e a investigação de ferramentas digitais relacionadas ao reconhecimento de texto manuscrito. Nesse sentido, o contexto da alfabetização mostra-se relevante para a investigação de soluções de apoio ao Reconhecimento de Texto Manuscrito (HTR), especialmente no caso da escrita cursiva, cuja variabilidade representa um desafio para os sistemas computacionais.

Embora as atividades de leitura e escrita possuam uma finalidade essencialmente pedagógica, elas também podem constituir um contexto de interação relevante para a investigação de ferramentas computacionais. Assim, esta pesquisa utiliza o contexto da alfabetização como cenário de aplicação para investigar ferramentas digitais de apoio ao HTR cursivo e avaliar a interação dos usuários com essas propostas. Dessa forma, a alfabetização não constitui o objeto central de investigação, mas o contexto no qual são concebidas e avaliadas as ferramentas desenvolvidas nesta pesquisa.

Estudos recentes demonstram que a alfabetização não ocorre de maneira linear ou homogênea, mas sim por meio de etapas progressivas que articulam fatores linguísticos, cognitivos e sociais (Borges *et al.*, 2023; Scliar-Cabral, 2003). Nesse percurso, a criança transita da fase pré-alfabética, em que depende de pistas visuais globais, para a fase alfabética, na qual relaciona fonemas e grafemas, até atingir a fase ortográfica, marcada pela automatização da leitura e pelo reconhecimento rápido de palavras (Frith, 1985; Ehri, 1995). O domínio dessas etapas está diretamente relacionado ao desempenho acadêmico futuro, razão pela qual o desenvolvimento de metodologias e ferramentas eficazes para apoiar a alfabetização continua sendo um tema de grande relevância para a pesquisa e a prática pedagógica.

Apesar dos avanços significativos em metodologias de ensino, incluindo abordagens cons-

trutivistas, métodos fônicos e práticas de letramento, persistem desafios relevantes. Entre eles, destacam-se as dificuldades de reconhecimento de palavras e a manutenção do engajamento das crianças em atividades de leitura e escrita, especialmente diante de conteúdos abstratos ou repetitivos.

Nesse cenário, a motivação desempenha papel central. Quando os estudantes percebem sentido e prazer nas atividades propostas, sua persistência e desempenho tendem a aumentar. Pesquisas recentes confirmam que a motivação está diretamente relacionada ao engajamento e ao sucesso escolar nos primeiros anos do ensino fundamental, sendo também um fator essencial para o desenvolvimento de atitudes positivas em relação à aprendizagem (Rufini; Bzuneck; Oliveira, 2012; Costa, 2023). Além disso, práticas pedagógicas que favorecem o envolvimento ativo e o reconhecimento das conquistas individuais ampliam o interesse e a autoconfiança das crianças, contribuindo para a consolidação das habilidades de leitura e escrita.

Diante disso, as tecnologias digitais vêm se consolidando como importantes aliadas da alfabetização ao oferecerem experiências interativas, dinâmicas e personalizadas que potencializam tanto o aprendizado quanto a motivação. Ferramentas como aplicativos educativos, jogos interativos e ambientes virtuais imersivos demonstraram eficácia em promover maior exposição das crianças a estímulos linguísticos e em fornecer feedback imediato, elemento essencial para a aprendizagem significativa (Neumann, 2014; Plass; Homer; Kinzer, 2015; Shute, 2008). A literatura aponta que esse tipo de retorno em tempo real contribui para a consolidação da memória fonológica e visual, possibilitando a correção de erros antes que se tornem padrões cristalizados. Além disso, o caráter lúdico dessas tecnologias fortalece o envolvimento emocional da criança, reforçando sua relação positiva com a leitura e a escrita. No contexto desta pesquisa, tais tecnologias também são compreendidas como meios de interação capazes de viabilizar a investigação de ferramentas digitais relacionadas ao reconhecimento de palavras manuscritas, articulando objetivos pedagógicos às possibilidades de aplicação no domínio do HTR cursivo.

Um desafio específico desse processo está relacionado à transição entre diferentes grafias. A predominância de letras bastão em materiais didáticos e aplicativos digitais favorece a aprendizagem inicial devido à sua facilidade de reconhecimento visual. Entretanto, o domínio da letra cursiva é fundamental para a consolidação da fase ortográfica, pois exige que a criança desenvolva estratégias cognitivas voltadas ao reconhecimento de padrões contínuos e conectados. Estudos recentes indicam que a escrita manual, incluindo a cursiva, ativa redes neurais mais amplas do que a digitação, promovendo processos cognitivos complexos essenciais para a aprendizagem da escrita (Van der Weel; Van der Meer, 2024). Essa variabilidade e continuidade características da escrita cursiva, entretanto, não representam desafios apenas para os aprendizes, mas também para os sistemas computacionais responsáveis pelo reconhecimento

automático de textos manuscritos.

Além de favorecerem o processo de aprendizagem, as tecnologias digitais utilizadas na alfabetização ampliam as possibilidades de interação das crianças com conteúdos escritos, registrando continuamente respostas e produções textuais geradas durante as atividades. Embora esses registros sejam tradicionalmente utilizados para fins pedagógicos, eles também evidenciam o potencial desses ambientes como contexto para a investigação de ferramentas computacionais e como possível fonte de informações para pesquisas em computação, especialmente aquelas relacionadas ao HTR cursivo.

Além de sua relevância pedagógica, a produção de palavras manuscritas cursivas durante a alfabetização representa um contexto promissor para investigar abordagens destinadas ao enriquecimento de bases de dados voltadas ao reconhecimento automático de escrita manuscrita cursiva. Se, para os seres humanos, a capacidade de reconhecer palavras escritas em diferentes estilos é adquirida progressivamente, para os computadores esse processo representa um desafio complexo. O Reconhecimento de Textos Manuscritos (HTR) ainda enfrenta limitações consideráveis devido à elevada variabilidade gráfica e estilística das produções humanas (Plamondon; Srihari, 2000). Entre os fatores que dificultam o avanço dessa área destaca-se a necessidade de bases de dados suficientemente amplas e diversificadas, capazes de representar a variedade de estilos presentes na escrita cursiva.

Nessa direção, projetos que articulam alfabetização e tecnologia podem gerar benefícios simultaneamente pedagógicos e computacionais. Do ponto de vista educacional, ampliam o contato das crianças com palavras manuscritas em letra cursiva, estimulando a memorização visual e o reconhecimento ortográfico, além de possibilitarem a identificação precoce de dificuldades específicas relacionadas à leitura e à escrita, como aquelas associadas à dislexia (Salles; Rosa Piccolo; Zortea, 2025; Rauschenberger; Baeza-Yates; Rello, 2020). Sob a perspectiva computacional, a alfabetização configura-se como um contexto promissor para a investigação e a avaliação da interação com ferramentas digitais relacionadas ao reconhecimento de palavras manuscritas cursivas. Além disso, em perspectivas futuras, as interações realizadas nesses ambientes poderão subsidiar estratégias colaborativas voltadas ao enriquecimento de bases de dados e ao desenvolvimento de algoritmos de HTR mais robustos e adaptados à variabilidade característica da escrita humana.

1.1 Problema de pesquisa

O HTR constitui atualmente uma das áreas mais ativas de pesquisa na interface entre linguística computacional, inteligência artificial e visão computacional. Embora avanços significativos tenham sido alcançados nas últimas décadas, sobretudo a partir do uso de redes neurais recorrentes e, mais recentemente, de arquiteturas baseadas em *transformers*, ainda persistem desafios substanciais. Entre os principais obstáculos estão a elevada variabilidade na forma das letras, a irregularidade no espaçamento entre caracteres e palavras e a inconsistência do traço gráfico decorrente das diferenças individuais entre escritores (AlKendi *et al.*, 2024; Plamondon; Srihari, 2000). Esses fatores tornam o reconhecimento de manuscritos cursivos uma tarefa particularmente complexa, uma vez que, diferentemente dos caracteres impressos, não existem fronteiras visuais claramente delimitadas entre as unidades gráficas. Além disso, o desempenho dos modelos de HTR depende diretamente da disponibilidade de bases de dados suficientemente amplas e representativas da diversidade presente na escrita manuscrita.

A construção dessas bases de dados, entretanto, representa um desafio significativo. A obtenção, transcrição e validação de manuscritos cursivos demandam tempo, recursos humanos e procedimentos capazes de garantir qualidade e diversidade dos dados coletados. Nesse contexto, estratégias baseadas em crowdsourcing apresentam-se como uma alternativa promissora por possibilitarem a participação colaborativa de um grande número de usuários na geração e validação de informações. Contudo, ainda permanece o desafio de identificar contextos nos quais essa coleta possa ocorrer de forma natural, ética e integrada às atividades desenvolvidas pelos participantes.

Um contexto particularmente relevante para essa finalidade é o processo de alfabetização. A aprendizagem da leitura e da escrita, no contexto brasileiro, envolve atividades contínuas de produção e reconhecimento de palavras manuscritas, incluindo a transição entre letras bastão e cursivas. Entretanto, observa-se que, em ambientes digitais, há predominância do uso de letras bastão por serem mais facilmente reconhecidas visualmente. Embora esse recurso facilite as fases iniciais da alfabetização, pode também gerar uma lacuna na transição para a letra cursiva, cuja compreensão exige maior maturidade cognitiva e visual. Em muitos casos, essa transição não ocorre de forma natural, acarretando dificuldades que se prolongam ao longo da trajetória escolar (Scliar-Cabral, 2003; Van der Weel; Van der Meer, 2024; Stanovich, 1986).

Diante desse cenário, surge a oportunidade de investigar ferramentas digitais capazes de integrar essas duas demandas. Ao propor atividades de alfabetização como contexto de interação inspirado nos princípios do crowdsourcing e na lógica do reCAPTCHA, torna-se possível conciliar benefícios pedagógicos com a exploração de um mecanismo potencialmente capaz

de subsidiar, no futuro, a geração de bases de dados destinadas ao HTR cursivo. Antes, porém, de investigar essa possibilidade em larga escala, é necessário compreender como essas ferramentas são percebidas, utilizadas e aceitas por quem poderá viabilizar sua aplicação em sala de aula: os professores e educadores da Educação Básica, responsáveis por mediar as atividades de alfabetização e por avaliar, sob a ótica pedagógica, a adequação de novas tecnologias educacionais. Considerando esse contexto, esta pesquisa é orientada pela seguinte questão de pesquisa:

No contexto da alfabetização, como professores e educadores da Educação Básica percebem a interação com ferramentas de apoio ao Reconhecimento de Texto Manuscrito (HTR) cursivo?

Essa questão sintetiza tanto a necessidade de investigar a interação, a usabilidade e a aceitação dessas ferramentas quanto o potencial da alfabetização como contexto de aplicação inspirado no crowdsourcing e no reCAPTCHA. Embora existam pesquisas voltadas ao apoio à alfabetização e estudos dedicados ao reconhecimento automático de escrita manuscrita, ainda são escassas as iniciativas que investiguem a interação e a aceitação de professores e educadores diante de ferramentas que integrem essas duas perspectivas. Essa lacuna fundamenta a realização desta pesquisa, que investiga a interação de professores e educadores da Educação Básica com ferramentas digitais de apoio ao reconhecimento de escrita manuscrita cursiva. Essas ferramentas são inspiradas nos princípios do crowdsourcing e na lógica do reCAPTCHA, aplicadas ao contexto da alfabetização.

1.2 Objetivos

O objetivo geral desta dissertação é avaliar a interação de professores e educadores da Educação Básica com ferramentas digitais de apoio ao HTR cursivo, inspiradas nos princípios do crowdsourcing e na lógica do reCAPTCHA, aplicadas ao contexto da alfabetização. Para isso, são desenvolvidos artefatos computacionais capazes de apoiar atividades de leitura e escrita em letra cursiva, utilizados como base para investigar a usabilidade, a aceitação e o potencial pedagógico dessas ferramentas.

Para alcançar esse objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar estudo exploratório sobre reconhecimento de escrita manuscrita em letra bastão, evidenciando as limitações de abordagens tradicionais de OCR e a necessidade de abordagens específicas voltadas ao HTR cursivo;

- Identificar o estado da arte sobre HTR cursivo, mapeando técnicas, desafios e lacunas por meio de um levantamento da literatura;
- Conceber ferramentas digitais inspiradas nos princípios do crowdsourcing e na lógica do reCAPTCHA, aplicadas ao contexto da alfabetização, como apoio ao HTR cursivo;
- Desenvolver artefatos computacionais que materializem essas ferramentas em ambiente bidimensional e em ambiente virtual imersivo, respectivamente;
- Incorporar princípios de crowdsourcing, inspirados na inteligência coletiva e na lógica do reCAPTCHA, à concepção dos artefatos, representando de forma simulada a transcrição, o registro e a futura validação colaborativa das interações realizadas durante as atividades propostas;
- Avaliar os artefatos desenvolvidos quanto à usabilidade, à aceitação e ao potencial pedagógico, junto a professores e educadores da Educação Básica.

Em conjunto, esses objetivos específicos operacionalizam a proposta central descrita anteriormente, conduzindo progressivamente à avaliação junto aos professores e educadores participantes. Espera-se, dessa forma, contribuir com evidências sobre a interação, a usabilidade, a aceitação e o potencial pedagógico dessas ferramentas, demonstrando, por meio de um cenário experimental exploratório, as possibilidades de investigação nessa área e seu potencial para subsidiar futuras aplicações relacionadas ao HTR cursivo.

1.3 Metodologia

Para atender aos objetivos descritos na seção anterior, a pesquisa foi conduzida em quatro etapas complementares, detalhadas a seguir. Diferentemente de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de métodos de alfabetização, este trabalho utiliza a alfabetização infantil como contexto de aplicação para o desenvolvimento e a avaliação dessas ferramentas, explorando atividades pedagógicas de leitura e escrita como cenário para investigar sua interação, usabilidade e aceitação.

A construção da proposta foi conduzida de forma incremental. Inicialmente, foi realizado um estudo exploratório com amostras de escrita em letra bastão produzidas por adultos, com o objetivo de avaliar as limitações das técnicas convencionais de Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR). Os resultados evidenciaram que, mesmo diante de grafias padronizadas e maduras, os algoritmos tradicionais enfrentam sérios desafios de precisão, o que justifica

a necessidade de novas abordagens baseadas em HTR e inteligência coletiva para apoiar o processo de transcrição e validação colaborativa de palavras manuscritas cursivas.

Em seguida, foi realizado um levantamento da literatura focado nas estratégias e técnicas de Aprendizado Profundo para o HTR cursivo, com o objetivo de identificar os principais avanços, desafios de classificação e lacunas na disponibilidade de bases de dados. Complementarmente, foram conduzidos estudos teóricos acerca de estratégias de crowdsourcing e tecnologias aplicadas à alfabetização, fornecendo a base necessária para a concepção das ferramentas.

Após sua concepção, as ferramentas foram desenvolvidas e avaliadas no contexto da alfabetização infantil com o objetivo de investigar a interação, a usabilidade e a aceitação dos professores e educadores. Para essa investigação, foram utilizadas simulações que representam o funcionamento das ferramentas em um cenário de transcrição colaborativa de palavras manuscritas cursivas.

Por conseguinte, esta pesquisa concentra-se no desenvolvimento e na avaliação dessas ferramentas junto a professores e educadores da Educação Básica, buscando demonstrar seu potencial de aplicação sem contemplar a construção efetiva de uma base de dados para HTR. Portanto, a principal contribuição desta dissertação consiste na avaliação da interação, da usabilidade e da aceitação de ferramentas digitais inspiradas no crowdsourcing e na lógica do reCAPTCHA como apoio ao HTR cursivo, utilizando a alfabetização como contexto de aplicação.

A pesquisa foi organizada em uma sequência de etapas interdependentes, iniciando pela definição do problema, passando pelo estudo exploratório e pela fundamentação teórica, culminando na concepção, no desenvolvimento e na avaliação das ferramentas. Essa organização permitiu construir gradualmente a proposta apresentada, mantendo coerência entre o problema investigado, os objetivos estabelecidos e as contribuições alcançadas. Os procedimentos metodológicos adotados, bem como o desenvolvimento das ferramentas e sua avaliação, são detalhados nas seções seguintes.

1.4 Justificativa da pesquisa

A relevância desta pesquisa fundamenta-se na necessidade de responder simultaneamente a desafios do âmbito educacional e da inteligência artificial aplicada.

No contexto pedagógico, a transição da leitura e escrita da letra bastão para a cursiva representa um marco crítico na alfabetização infantil, demandando estratégias inovadoras para

engajar os estudantes. Por outro lado, no ecossistema tecnológico, a escassez de bases de dados diversificadas dificulta o avanço de sistemas de HTR eficientes.

Diante disso, esta investigação justifica-se pela possibilidade de avaliar, junto a professores e educadores da Educação Básica, ferramentas digitais que integrem práticas pedagógicas imersivas ao potencial de enriquecimento colaborativo de dados, articulando contribuições científicas, tecnológicas e sociais apresentadas a seguir.

Do ponto de vista pedagógico, esta pesquisa justifica-se pela necessidade de investigar ferramentas digitais capazes de apoiar o HTR cursivo, utilizando o contexto da alfabetização infantil como ambiente de aplicação, já que, durante esse processo, crianças realizam continuamente atividades de leitura e escrita manuscrita cursiva que produzem informações potencialmente relevantes tanto para o processo pedagógico quanto para futuras pesquisas em HTR. Embora a alfabetização seja reconhecida como uma das etapas mais importantes da formação escolar, persistem desafios relacionados à consolidação das habilidades de leitura e escrita, sobretudo durante a transição entre a letra bastão e o domínio da escrita manuscrita cursiva, o que pode comprometer a fluência leitora e a memória ortográfica ao longo da trajetória escolar (Ehri, 2014; Suggate *et al.*, 2023; Van der Weel; Van der Meer, 2024; Stanovich, 1986). Agrava esse cenário o fato de boa parte das tecnologias educacionais disponíveis priorizar caracteres impressos, reduzindo a exposição das crianças à escrita manuscrita cursiva, apesar de evidências de que a escrita manual desempenha papel importante no desenvolvimento cognitivo, na memória, na coordenação motora e no reconhecimento de padrões gráficos (Van der Weel; Van der Meer, 2024). Soma-se a isso o papel central da motivação: atividades que despertam o interesse das crianças e oferecem retorno imediato favorecem maior engajamento e participação ativa (Neumann, 2014; Plass; Homer; Kinzer, 2015), o que, sob a ótica do crowdsourcing, é indispensável para garantir o fluxo contínuo e voluntário de interações necessárias à geração e validação de dados de HTR cursivo. Nesse sentido, ambientes imersivos baseados em RV representam uma evolução em relação às interfaces bidimensionais tradicionais, permitindo que a criança interaja com objetos e atividades em um espaço tridimensional e favorecendo experiências mais envolventes, capazes de potencializar processos cognitivos relacionados à atenção e à memória (Makransky; Mayer, 2022; Hamilton *et al.*, 2021). Sob essa perspectiva, os artefatos desenvolvidos integram leitura, escrita manuscrita cursiva, ludicidade e interação espacial, buscando não substituir práticas pedagógicas já consolidadas, mas oferecer um recurso complementar cuja usabilidade e aceitação são avaliadas nesta pesquisa.

Do ponto de vista tecnológico, esta pesquisa justifica-se pela oportunidade de investigar ferramentas digitais de apoio ao enriquecimento de bases de dados destinadas ao HTR cursivo, uma vez que a disponibilidade de bases amplas, diversificadas e representativas constitui um

dos principais fatores para o avanço dos algoritmos de HTR, e sua obtenção ainda representa um desafio pelo elevado custo de coleta e anotação e pela diversidade de estilos presentes na escrita humana. Recursos interativos, ambientes digitais e mecanismos de gamificação possibilitam a construção de experiências mais envolventes, favorecendo a participação ativa dos usuários e criando condições para que ações educacionais sejam conciliadas com a geração de dados de interesse científico; a utilização de tecnologias abertas e multiplataforma reforça esse potencial ao ampliar a portabilidade, a interoperabilidade e a escalabilidade das soluções, reduzindo a dependência de plataformas proprietárias e favorecendo sua manutenção e evolução ao longo do tempo. Além disso, a integração de conceitos provenientes do reconhecimento automático de escrita manuscrita, do crowdsourcing, da Interação Humano-Computador (IHC) e das tecnologias educacionais permite investigar uma abordagem interdisciplinar para enfrentar a carência de bases de dados destinadas ao treinamento e à avaliação de algoritmos de HTR, explorando o potencial da inteligência coletiva como mecanismo de enriquecimento colaborativo de dados (Surowiecki, 2004; Howe, 2006; Ahn *et al.*, 2008; Law; Ahn, 2011). Sob essa perspectiva, a principal contribuição tecnológica desta pesquisa não está associada exclusivamente ao desenvolvimento de uma aplicação computacional, mas à avaliação da interação, da usabilidade e da aceitação de professores e educadores diante de ferramentas que possam orientar futuras soluções voltadas ao enriquecimento colaborativo de bases de dados para reconhecimento de escrita manuscrita cursiva, contribuindo para o avanço das pesquisas em HTR ao conciliar a geração colaborativa de dados com atividades desenvolvidas em contextos educacionais.

1.5 Organização

Esta dissertação está dividida em 9 seções conforme exibido na Figura 1: a Seção 1 apresenta a Introdução, contextualizando o problema, os objetivos e a justificativa da pesquisa. A Seção 2 aborda a Fundamentação Teórica, fundamentando os conceitos de HTR, crowdsourcing, alfabetização e tecnologias educacionais. A Seção 3 descreve a Metodologia adotada na pesquisa. A Seção 4 detalha o Experimento Exploratório com a ferramenta Tesseract OCR, evidenciando as limitações das abordagens convencionais para a escrita cursiva. A Seção 5 apresenta os Trabalhos Relacionados por meio de um levantamento da literatura, mapeando as lacunas científicas no estado da arte. A Seção 6 apresenta a Visão Geral da Abordagem Proposta, explicando o fluxo das ferramentas e da lógica colaborativa, detalha o App *Manu*, primeira ferramenta desenvolvida, e a *Sala 360A*, ambiente imersivo em Realidade Virtual (RV) que amplia as possibilidades de interação da proposta. A Seção 7 traz os Resultados da Avaliação da interação dos professores e educadores conduzida com esses artefatos. A Seção

8 desenvolve a Discussão, analisando os achados, as limitações da pesquisa e as perspectivas de trabalhos futuros. Por fim, a Seção 9 apresenta a Conclusão da dissertação, sintetizando as principais contribuições do trabalho.



Figura 1: Organização das seções da dissertação.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta o aporte teórico que fundamenta conceitualmente esta pesquisa, articulando os domínios do HTR, da interação com ferramentas digitais, do crowdsourcing, das tecnologias imersivas e do contexto pedagógico da alfabetização. Esses conceitos sustentam a investigação e a avaliação da interação dos usuários com ferramentas de apoio ao reconhecimento de texto manuscrito cursivo, utilizando a alfabetização como contexto de aplicação.

Inicialmente, exploram-se os conceitos e a evolução das tecnologias de OCR e HTR, juntamente com os princípios de crowdsourcing e inteligência coletiva exemplificados pela lógica do reCAPTCHA, que fundamentam a proposição de mecanismos de interação colaborativa. Em seguida, abordam-se o potencial educativo da Realidade Virtual (RV) e dos ambientes 360°, bem como o uso do framework A-Frame para o desenvolvimento de soluções imersivas e interativas. Por fim, delineia-se o contexto de aplicação da pesquisa, abordando a transição da letra bastão para a cursiva e o papel das tecnologias digitais no apoio às atividades de leitura e escrita.

A consolidação dessa base teórica constituiu um passo essencial para embasar a concepção da abordagem e dos artefatos desenvolvidos neste trabalho, assegurando o alinhamento entre as abordagens tecnológicas e as demandas pedagógicas do estudo.

2.1 OCR e HTR

O OCR e o HTR são tecnologias fundamentais no campo da visão computacional, da inteligência artificial e do processamento de linguagem natural. Ambas têm como objetivo central a transformação de textos em formatos visuais (sejam eles impressos ou manuscritos) em dados digitais que possam ser processados por sistemas computacionais. Essa conversão é estratégica porque possibilita não apenas o armazenamento e a recuperação de documentos em larga escala, mas também a aplicação de técnicas de mineração de dados, análise semântica e indexação automática em diversos contextos, que vão desde bibliotecas digitais até ambientes educacionais.

A relevância dessas tecnologias, portanto, ultrapassa a esfera técnica, pois toca diretamente áreas sociais, históricas e pedagógicas, contribuindo para a democratização do acesso à informação e para a preservação de patrimônios culturais.

O OCR consolidou-se como uma das tecnologias mais difundidas desde meados do século XX, inicialmente empregado na digitalização de textos impressos com fontes tipográficas regulares. Seu funcionamento baseia-se em algoritmos de segmentação, extração de características e classificação, que identificam padrões gráficos e os traduzem em caracteres codificados.

Ferramentas como o Tesseract (Smith, 2007), de código aberto e amplamente utilizado em pesquisas acadêmicas e aplicações industriais, bem como pacotes de visão computacional como o OpenCV (Bradski, 2000), tornaram-se importantes recursos nesse campo, fornecendo implementações adaptáveis a diferentes tarefas e contextos. Estudos comparativos também evidenciam a utilização do Tesseract em diferentes idiomas e sua aplicabilidade em cenários de reconhecimento de texto de baixo recurso (Balaha; Ali; Badawy, 2021; Alam *et al.*, 2021). No entanto, embora tais sistemas tenham alcançado alta precisão em textos impressos, sua aplicação em manuscritos revelou limites importantes, principalmente no caso da escrita cursiva. Isso ocorre porque os algoritmos de OCR foram projetados para lidar com formas de letras bem definidas e espaçadas, características ausentes em produções manuais.

A escrita manuscrita cursiva, característica de processos educacionais iniciais e também presente em documentos históricos, adiciona uma camada de complexidade. Seus traços contínuos dificultam a tarefa de segmentar caracteres individuais, etapa fundamental para que o sistema reconheça letras e palavras. Em outras palavras, na cursiva, a ausência de fronteiras claras entre caracteres adjacentes compromete a detecção de limites. Esse cenário exige o emprego de técnicas mais avançadas de Aprendizado de Máquina, capazes de lidar com fluxos contínuos de informação gráfica e de identificar padrões em sequências não discretizadas. Nesse sentido, Redes Neurais Recorrentes (RNN), Memória de Longo e Curto Prazo (LSTMs) e arquiteturas mais recentes como as redes de atenção e transformers têm se mostrado mais promissoras para o HTR, pois processam informações considerando a dependência temporal e contextual dos traços manuscritos (Graves *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2025a).

Entretanto, mesmo com o avanço das arquiteturas de redes neurais, persiste o desafio da generalização. Modelos de HTR tendem a apresentar resultados satisfatórios em conjuntos de dados semelhantes aos utilizados no treinamento, mas falham diante de escritas inéditas ou de estilos significativamente diferentes, caracterizando o problema dos dados *out-of-distribution* (Garrido-Muñoz; Calvo-Zaragoza, 2024). Essa fragilidade é um dos maiores entraves para a aplicabilidade em larga escala do HTR, sobretudo em cenários dinâmicos como o educacional

(Garrido-Muñoz; Calvo-Zaragoza, 2024). Cada ser humano desenvolve sua escrita com particularidades: inclinações, tamanhos desproporcionais, espaçamento irregular e até omissões de traços. Isso significa que os sistemas precisam ser capazes de lidar com uma grande diversidade estilística.

A literatura recente também aponta que a qualidade e a diversidade dos conjuntos de dados de treinamento desempenham papel decisivo nesse processo. Grandes bases anotadas, como IAM, Bentham, READ e Washington, tornaram-se referências internacionais, pois reúnem amostras de manuscritos de diferentes épocas, idiomas e autores, permitindo o desenvolvimento de modelos mais robustos (AlKendi *et al.*, 2024). Esses conjuntos não apenas fornecem imagens digitalizadas, mas também oferecem anotações detalhadas, em nível de caractere, palavra ou linha, viabilizando treinos supervisionados de alta qualidade. Um exemplo mais recente é a base Muharaf, voltada para manuscritos árabes históricos. Além de sua relevância cultural, essa base introduz metodologias de anotação em nível de linha, o que contribui significativamente para pesquisas em HTR cursiva (Saeed *et al.*, 2024). Tais iniciativas mostram que o futuro do campo depende de uma constante ampliação e diversificação dos recursos de dados.

Nesse panorama, ganha força a proposta de criar novos bancos de dados específicos, sobretudo com validação durante o processo de alfabetização infantil. Uma alternativa inovadora para essa validação é o uso de plataformas digitais interativas, como o reCAPTCHA, que já se consolidou como uma ferramenta de verificação de usuários na internet, mas que pode ser adaptado para fins pedagógicos e de pesquisa. A ideia consiste em utilizar o engajamento natural das crianças em atividades lúdicas para validar amostras manuscritas em letra cursiva, que ao mesmo tempo serviriam como prática de leitura e escrita e como insumo para sistemas HTR. A adoção desse tipo de estratégia possui vantagens pedagógicas e tecnológicas. Pedagogicamente, a criança participa de uma atividade que reforça o processo de alfabetização, uma vez que precisa ler, digitar e revisar, ou seja, interagir com letras e palavras.

Do ponto de vista tecnológico, o sistema se beneficia de dados reais, diversificados e constantemente atualizados, garantindo maior riqueza para o treinamento de modelos. Assim, cria-se um ciclo virtuoso no qual a prática educacional alimenta o avanço científico, e este, por sua vez, devolve soluções mais adequadas ao contexto escolar. Além disso, iniciativas como essa aproximam as fronteiras entre Educação Básica e pesquisa de ponta, contribuindo para a formação de cidadãos familiarizados com tecnologias digitais e ao mesmo tempo potencializando a Ciência Aberta. Portanto, a expansão do HTR depende de um esforço articulado entre desenvolvimento de algoritmos, criação de novas bases de dados e integração com contextos de uso reais.

A construção de um banco de dados validado por crianças em fase de alfabetização, utilizando recursos como o reCAPTCHA, pode representar um passo decisivo nesse sentido. Tal iniciativa não apenas supriria lacunas na literatura, como também traria ganhos pedagógicos e sociais, tornando a tecnologia mais inclusiva e conectada às necessidades do cotidiano escolar. Em última instância, trata-se de alinhar inovação tecnológica a objetivos de relevância social, ampliando o alcance do HTR e fortalecendo sua contribuição tanto para a ciência quanto para a educação.

2.2 Crowdsourcing e Inteligência Coletiva

A inteligência coletiva baseia-se no princípio de que a agregação de conhecimentos, habilidades e esforços de um grupo diversificado de indivíduos pode resultar em soluções mais eficientes do que aquelas produzidas isoladamente por especialistas ou algoritmos computacionais. O crowdsourcing surge como a operacionalização desse conceito no ambiente digital, atuando como um modelo no qual tarefas complexas são divididas em pequenas subtarefas e distribuídas a uma grande quantidade de participantes. Essa dinâmica fundamenta-se na capacidade humana de processar informações contextuais e reconhecer padrões abstratos com facilidade, permitindo a resolução colaborativa de problemas que demandam alto custo computacional ou manual quando abordados de forma centralizada (Surowiecki, 2004; Howe, 2006).

No campo do reconhecimento de dados e da visão computacional, o crowdsourcing desempenha um papel crucial na superação do gargalo relativo à escassez de bases anotadas. Sistemas de Aprendizado Profundo voltados ao HTR exigem volumes expressivos de dados rotulados para alcançar níveis satisfatórios de acurácia, processo que costuma ser dispendioso e moroso. A aplicação da inteligência coletiva permite distribuir a rotulagem e a validação de imagens de palavras manuscritas entre múltiplos colaboradores, viabilizando a construção de conjuntos de dados representativos. Mecanismos de agregação de respostas e algoritmos de consenso são empregados para mitigar inconsistências, garantindo a confiabilidade das anotações geradas de forma descentralizada (Ahn *et al.*, 2008; Quinn; Bederson, 2011).

A integração de crowdsourcing e inteligência coletiva no contexto educacional amplia as possibilidades de engajamento e utilidade social das tarefas propostas. Ao participar de atividades colaborativas de transcrição e validação de textos manuscritos, os usuários não apenas contribuem para o avanço de bases de dados acadêmicas, mas também exercitam competências cognitivas e linguísticas essenciais. Essa convergência entre o esforço distribuído e a prática pedagógica demonstra a viabilidade de transformar tarefas de anotação de dados em recursos educativos significativos, promovendo um ciclo contínuo de aprendizado e geração de

conhecimento (Ahn *et al.*, 2008; Surowiecki, 2004).

2.3 reCAPTCHA: Tecnologia e Aplicação Pedagógica

O reCAPTCHA é uma tecnologia originalmente concebida para diferenciar seres humanos de programas automatizados (bots) em ambientes digitais. Seu funcionamento apoia-se na apresentação de tarefas que, em geral, são simples para humanos, mas representam grande desafio para sistemas computacionais. Entre os exemplos mais comuns estão a transcrição de palavras distorcidas, a identificação de objetos em imagens ou a resolução de pequenos puzzles visuais. O princípio subjacente consiste na noção de que determinadas habilidades cognitivas, sobretudo aquelas relacionadas ao reconhecimento de padrões complexos e à interpretação semântica, são muito mais eficazmente executadas por pessoas do que por algoritmos, especialmente em períodos anteriores ao desenvolvimento de técnicas modernas de Aprendizado Profundo (Law; Ahn, 2011; Quinn; Bederson, 2011).

Embora tenha sido criado com finalidades de segurança digital, o reCAPTCHA apresenta um potencial significativo para ser explorado em contextos educacionais. Quando adaptado como ferramenta pedagógica, ele pode assumir o papel de um mecanismo de reforço da aprendizagem. Em vez de apenas confirmar a identidade de um usuário, a tecnologia pode propor desafios relacionados à alfabetização, como a transcrição de palavras, a identificação de letras em diferentes fontes ou até mesmo a associação entre imagens e vocábulos correspondentes. Nesse cenário, as crianças não apenas realizam tarefas similares às já aplicadas pela ferramenta, mas também recebem feedback imediato quanto à precisão de suas respostas. Tal característica é especialmente relevante, uma vez que o retorno rápido contribui para o fortalecimento da memória de trabalho, promove a atenção contínua e amplia o engajamento dos alunos no processo de aprendizagem (Hattie; Timperley, 2007; Shute, 2008; Sweller, 1988).

A adoção do reCAPTCHA em ambientes educacionais, portanto, transcende sua função original de segurança, tornando-se um recurso potencialmente útil na alfabetização digital. A integração dessa tecnologia contribui para expandir as possibilidades de interação entre alunos e sistemas automatizados, ao mesmo tempo em que gera insights valiosos sobre a viabilidade do uso de ferramentas de HTR em contextos de ensino (Ahn *et al.*, 2008; Quinn; Bederson, 2011).

2.4 Realidade Virtual: Definição, Aplicações e Potencial Pedagógico

A RV constitui uma das tecnologias mais relevantes no atual cenário de inovação digital, sendo definida como a criação de ambientes tridimensionais gerados por computador, nos quais os usuários podem interagir de forma imersiva e sensorial. Diferentemente de recursos tradicionais de mídia, que oferecem apenas uma experiência de observação passiva, a RV proporciona ao usuário a sensação de presença em um espaço simulado, permitindo a manipulação de objetos, a navegação em ambientes artificiais e a vivência de situações que, no mundo real, seriam de difícil acesso ou até mesmo impossíveis de serem experienciadas (Grewe; Gie, 2023).

No campo educacional, essa tecnologia tem sido amplamente investigada e aplicada como ferramenta de apoio pedagógico. Uma de suas principais contribuições consiste na possibilidade de simular situações reais ou de criar cenários abstratos, facilitando o entendimento de conteúdos que, em metodologias convencionais, poderiam ser considerados complexos ou de difícil visualização. Desa maneira, áreas como matemática, ciências naturais, história e até mesmo o ensino de línguas encontram na RV um recurso que amplia a compreensão e torna a aprendizagem mais contextualizada.

Pesquisas recentes indicam que o uso de ambientes virtuais pode contribuir significativamente para a retenção de informações e para a motivação dos estudantes, oferecendo experiências de aprendizagem mais dinâmicas, participativas e engajadoras (Makransky; Mayer, 2022; Hamilton *et al.*, 2021). A RV, ao criar ambientes tridimensionais simulados por computador, permite que os usuários interajam de maneira imersiva e intuitiva, explorando objetos, cenários e situações com alto grau de realismo. Esse tipo de interação rompe com a lógica da sala de aula tradicional, centrada na transmissão de informações, e promove a aprendizagem ativa. Os alunos deixam de ser receptores passivos do conteúdo para se tornarem exploradores e protagonistas do processo educacional. Essa mudança de paradigma favorece a construção de conhecimento de forma mais autônoma e crítica, aspecto considerado essencial em abordagens pedagógicas contemporâneas. Além de seu caráter inovador, a RV é capaz de oferecer experiências práticas em contextos que, no mundo real, implicariam riscos, custos elevados ou restrições logísticas. Por exemplo, na área das ciências, é possível simular experimentos de laboratório sem necessidade de equipamentos caros ou de ambientes controlados. Na história, os estudantes podem visitar reconstruções virtuais de cidades antigas, compreendendo melhor a organização espacial e cultural de sociedades passadas. Já no ensino de línguas, a imersão em ambientes virtuais interativos possibilita o contato contextualizado com o idioma, ampliando o repertório vocabular e a fluência comunicativa (Radianti *et al.*, 2020; Hamilton *et al.*, 2021).

Estudos têm mostrado que o uso da RV não apenas aumenta a motivação e o engajamento dos estudantes, mas também promove a retenção de informações a longo prazo. Ao experimentar diretamente um conteúdo, em vez de apenas escutá-lo ou lê-lo, o aluno é exposto a múltiplos estímulos (visuais, auditivos e, em alguns casos, até táteis) que reforçam a memória e favorecem a aprendizagem significativa (Makransky; Mayer, 2022; Radianti *et al.*, 2020).

Outro aspecto positivo refere-se à adaptabilidade da tecnologia. A RV permite a criação de atividades ajustadas a diferentes estilos de aprendizagem, oferecendo suporte tanto a alunos mais visuais quanto a aqueles que se beneficiam de interações práticas ou auditivas. A integração da RV com metodologias pedagógicas inovadoras, como a gamificação, a aprendizagem baseada em problemas e as simulações educacionais, amplia ainda mais seu impacto. professores e educadores podem desenvolver cenários personalizados, alinhados ao currículo e às necessidades específicas de suas turmas, ao mesmo tempo em que monitoram o desempenho dos alunos em tempo real. Isso possibilita ajustes imediatos nas atividades e promove um acompanhamento individualizado do progresso de cada estudante. Por fim, a RV apresenta-se como uma ferramenta promissora não apenas para a educação em geral, mas também para áreas específicas, como a alfabetização e o ensino de habilidades cognitivas complexas. Ao combinar estímulos visuais, auditivos e interativos em um mesmo ambiente, cria condições favoráveis para a aprendizagem multissensorial, o que é especialmente relevante para crianças em fase inicial de escolarização e para estudantes com dificuldades específicas de aprendizagem. Consequentemente, a RV consolida-se como um recurso estratégico, alinhado às demandas da educação contemporânea, ao mesmo tempo em que abre novas perspectivas para pesquisas futuras sobre inovação pedagógica e inclusão digital (Neumann, 2014; Rauschenberger; Baeza-Yates; Rello, 2020; Radianti *et al.*, 2020).

2.5 Ambiente 360°: Definição, Características e Vantagens na Educação

Os ambientes 360° configuram-se como um conceito contemporâneo e inovador que vem se consolidando como uma alternativa promissora para a transformação do espaço educacional por meio do uso de tecnologias imersivas. Tais ambientes são projetados com o objetivo de oferecer experiências de aprendizagem mais interativas, ricas e envolventes, recorrendo a recursos como projeções panorâmicas, sistemas de RV e ambientes digitais simulados (Radianti *et al.*, 2020).

Diferentemente das salas de aula tradicionais, nas quais a exposição de conteúdos tende a ser linear e mediada por recursos convencionais, como o quadro, a lousa ou apresentações

em slides, os ambientes 360° buscam colocar o aluno no centro da experiência, permitindo-lhe vivenciar o conhecimento de forma mais contextualizada, exploratória e participativa.

No campo da educação, pesquisas recentes têm demonstrado que os ambientes imersivos contribuem de maneira significativa para o desenvolvimento de aprendizagens mais profundas e duradouras. Ao permitir que os alunos interajam com o conteúdo em diferentes dimensões e perspectivas, esses espaços estimulam a curiosidade, a motivação e o pensamento crítico, promovendo não apenas a compreensão teórica, mas também a vivência prática dos conceitos apresentados (Makransky; Mayer, 2022). Essa abordagem mostra-se particularmente eficaz para o ensino de conteúdos complexos, em que a visualização espacial ou a manipulação de objetos tridimensionais pode reduzir barreiras cognitivas e tornar o processo de ensino-aprendizagem mais acessível e prazeroso.

Do ponto de vista estrutural, os ambientes 360° podem ser compreendidos como espaços educacionais imersivos que utilizam projeções panorâmicas, superfícies interativas ou dispositivos de RV para envolver os alunos de forma integral. Esses recursos permitem que os conteúdos sejam apresentados de maneira visualmente sofisticada e altamente interativa, favorecendo práticas de aprendizagem ativa (Radianti *et al.*, 2020). Em contraste com as salas convencionais, nas quais o estudante ocupa um papel predominantemente receptivo, os ambientes 360° promovem a participação direta, oferecendo múltiplos pontos de interação. Essa multiplicidade de perspectivas amplia o repertório cognitivo dos alunos e potencializa o processo investigativo, fomentando autonomia intelectual, colaboração e engajamento coletivo (Radianti *et al.*, 2020).

No contexto da educação infantil e dos primeiros anos do Ensino Fundamental, o impacto desses ambientes é ainda mais perceptível. Crianças em processo de alfabetização e desenvolvimento motor encontram nas experiências imersivas oportunidades de aprendizagem mais envolventes, nas quais o jogo, a experimentação e a exploração são integrados ao conteúdo formal. Evidências empíricas apontam que alunos expostos a recursos imersivos apresentam níveis mais elevados de atenção e demonstram maior retenção de informações quando comparados a métodos tradicionais baseados apenas em exposição oral ou leitura de textos impressos (Neumann, 2014; Plass; Homer; Kinzer, 2015). Essa característica é especialmente útil em disciplinas que demandam alto grau de visualização, como ciências naturais, geografia ou história, mas também pode ser adaptada para o ensino da leitura, da escrita e da matemática nos estágios iniciais da alfabetização.

Outro aspecto relevante dos ambientes 360° é a possibilidade de integração com tecnologias pedagógicas complementares. Ferramentas de feedback em tempo real, quizzes interativos, jogos educacionais e sistemas de monitoramento de desempenho podem ser incorporados,

oferecendo aos professores e educadores instrumentos eficazes para acompanhar a evolução dos estudantes. Esse tipo de acompanhamento detalhado favorece a personalização do ensino e a adaptação das atividades às necessidades de cada aluno. Além disso, a combinação entre espaços imersivos e aplicativos educativos amplia a experiência de aprendizagem, conectando o físico e o digital, o lúdico e o formal, o individual e o coletivo (Hattie; Timperley, 2007; Shute, 2008; Plass; Homer; Kinzer, 2015).

No contexto desta dissertação, o conceito de ambiente 360° representa, portanto, uma aplicação prática dos princípios teóricos discutidos na literatura, incorporando elementos lúdicos e pedagógicos em um cenário tridimensional interativo. Sua estrutura visa promover a aprendizagem ativa e o engajamento das crianças, simulando um espaço educativo que integra leitura, escrita e interação tecnológica em uma mesma experiência.

Nessa perspectiva, pode-se afirmar que os ambientes 360° constituem recursos educacionais alinhados às demandas contemporâneas da educação, ao combinarem inovação tecnológica, engajamento pedagógico e estratégias de aprendizagem ativa em um mesmo ecossistema imersivo.

2.6 A-Frame: Framework para Desenvolvimento de Ambientes Virtuais Educacionais

O A-Frame é um framework de código aberto baseado em JavaScript, criado com o propósito de simplificar o desenvolvimento de experiências de RV diretamente no ambiente da web. A proposta central dessa tecnologia é democratizar a criação de ambientes imersivos, reduzindo a barreira de entrada para desenvolvedores e educadores que não possuem experiência aprofundada em game engines tradicionais, como Unity ou Unreal. Utilizando uma estrutura modular de componentes e entidades, o A-Frame permite a construção de cenários virtuais interativos de forma mais intuitiva e acessível, o que o torna uma ferramenta especialmente atraente para contextos educacionais e experimentais (A-Frame Developers, 2024). Um dos aspectos mais notáveis do A-Frame é sua abordagem declarativa, que possibilita a criação de ambientes tridimensionais utilizando HTML enriquecido com componentes específicos. Por essa razão, desenvolvedores conseguem estruturar objetos, câmeras, luzes e interações em RV de maneira semelhante à construção de páginas web convencionais. Essa característica confere ao A-Frame grande flexibilidade, pois não exige domínio aprofundado de linguagens ou paradigmas de programação complexos.

A simplicidade da sintaxe contribui para que profissionais de diferentes áreas (não apenas da Computação, mas também da Educação, Comunicação ou Design Instrucional) possam explorar

o desenvolvimento de experiências imersivas sem a necessidade de formação técnica avançada (A-Frame Developers, 2025). A compatibilidade é outro ponto de destaque. O A-Frame foi projetado para funcionar em diferentes dispositivos, incluindo navegadores de desktop, dispositivos móveis e uma ampla gama de headsets de RV. Essa característica amplia seu potencial de aplicação em contextos educacionais, especialmente em instituições que buscam soluções tecnológicas escaláveis, de baixo custo e acessíveis. Ao dispensar a necessidade de hardwares sofisticados, o A-Frame viabiliza a implementação de experiências de aprendizagem imersivas em escolas com infraestrutura limitada, promovendo maior inclusão digital. Estudos recentes ressaltam que o uso do A-Frame em projetos educacionais possibilita a construção de protótipos rápidos, que podem ser submetidos a ciclos iterativos de avaliação pedagógica e de interação com alunos (A-Frame Developers, 2025).

Além da simplicidade e acessibilidade, o A-Frame se destaca por sua capacidade de integração com outras tecnologias. Ele pode ser combinado a bibliotecas voltadas à interação humano-computador, a APIs de rastreamento de movimento e a sistemas de coleta e análise de dados em tempo real. Isso abre espaço para que ambientes imersivos criados no A-Frame não sejam apenas visualizações passivas, mas sim experiências interativas que captam e respondem às ações do usuário. Essa versatilidade é especialmente promissora no campo educacional, em que a coleta de dados sobre desempenho, engajamento e tempo de permanência em determinadas atividades pode subsidiar práticas de ensino mais personalizadas (A-Frame Developers, 2025).

Em termos pedagógicos, o A-Frame pode ser utilizado em projetos de salas virtuais 360°, permitindo a criação de experiências que reforcem a alfabetização, o desenvolvimento de habilidades cognitivas ou até treinamentos técnicos específicos. A possibilidade de adaptação do framework a diferentes faixas etárias e objetivos pedagógicos torna-o um recurso estratégico para professores e educadores, pesquisadores e desenvolvedores interessados em explorar metodologias inovadoras. Combinado a elementos como gamificação, feedback imediato e atividades colaborativas, o A-Frame não apenas facilita a construção de ambientes digitais, mas também favorece a implementação de práticas educativas centradas no aluno, promovendo engajamento e aprendizagem significativa. Dessa forma, o A-Frame consolida-se como uma ferramenta versátil, acessível e estratégica no desenvolvimento de ambientes educacionais imersivos. Sua adoção amplia as possibilidades de inovação pedagógica e contribui para aproximar o universo da RV das demandas reais da sala de aula contemporânea.

2.7 Domínio de Aplicação

A viabilidade e a efetividade das soluções tecnológicas propostas nesta pesquisa dependem da sua adequada contextualização no cenário real de uso. Nesse sentido, esta seção delimita o domínio de aplicação do estudo, articulando os aspectos pedagógicos e cognitivos do processo de alfabetização com a inserção de recursos digitais no ambiente escolar.

Inicialmente, examinam-se as etapas do desenvolvimento da leitura e da escrita, com ênfase na transição crítica da letra bastão para a cursiva. Em seguida, analisa-se o papel das tecnologias digitais e dos jogos educativos no apoio ao ensino primário. Por fim, exploram-se os ambientes virtuais imersivos de aprendizagem como plataformas capazes de integrar ludicidade, engajamento e participação colaborativa, estabelecendo as bases pedagógicas que orientaram o desenvolvimento da proposta metodológica.

2.7.1 Fases da Alfabetização: Da Letra Bastão à Cursiva

A alfabetização é um processo gradual e complexo, que envolve diferentes etapas de desenvolvimento cognitivo e linguístico. Tradicionalmente, a literatura descreve esse percurso em três fases principais: pré-alfabética, alfabética e ortográfica (Frith, 1985; Ehri, 1995). Cada uma dessas fases representa um avanço qualitativo no modo como a criança interage com a linguagem escrita, refletindo mudanças em suas estratégias de reconhecimento de palavras, compreensão do princípio alfabético e automatização da leitura.

Na fase pré-alfabética, a criança ainda não domina a relação entre letras e sons. Seu reconhecimento das palavras ocorre, em grande medida, a partir de pistas visuais globais, como o formato da palavra, a cor ou o contexto no qual ela aparece. É comum, por exemplo, que crianças reconheçam o logotipo de uma marca ou a escrita do próprio nome sem compreender o princípio alfabético subjacente. Embora rudimentar, essa fase é essencial, pois constitui o primeiro contato com a ideia de que símbolos gráficos possuem significado e podem representar elementos do mundo real. Com a progressão para a fase alfabética, ocorre um marco fundamental no processo de alfabetização: o entendimento da correspondência fonema-grafema. A criança começa a relacionar sons da fala com letras específicas, o que lhe permite decodificar novas palavras, mesmo aquelas que nunca havia visto antes. Essa fase exige esforço cognitivo considerável, pois o aprendiz precisa identificar cada letra, associá-la ao som correspondente e realizar a síntese fonêmica para formar palavras. Trata-se de um período de intensa prática e experimentação, em que a leitura e a escrita se tornam atividades mais sistemáticas e intencionais.

O estágio ortográfico representa um avanço ainda maior, caracterizado pela automatização da leitura. Nessa etapa, a criança já não depende exclusivamente da decodificação fonológica para compreender palavras. Em vez disso, passa a reconhecer palavras de maneira rápida e quase instantânea, utilizando a memória visual e construindo representações ortográficas internas. Essa habilidade permite lidar com diferentes variações de caligrafia e facilita a leitura de textos mais longos, com maior fluidez e eficiência (Ehri, 1995, 2014). A consolidação dessa fase é essencial para que a leitura se torne não apenas um mecanismo de decodificação, mas uma prática de compreensão e interpretação crítica. Nesse processo, a escolha dos tipos de letra desempenha papel importante.

As letras bastão, também conhecidas como letras de forma, são frequentemente utilizadas em materiais didáticos e aplicativos voltados à alfabetização inicial. Seu formato padronizado, com traços simples e bem definidos, facilita a discriminação visual e o reconhecimento pelos aprendizes. Por essa razão, elas são consideradas mais adequadas para crianças que ainda estão no início da aprendizagem, reduzindo a sobrecarga cognitiva associada à decodificação. Entretanto, a introdução da letra cursiva representa um desafio adicional e, ao mesmo tempo, uma oportunidade de desenvolvimento.

Ao contrário da letra bastão, a cursiva exige que a criança identifique padrões em traços conectados, o que demanda maior maturidade cognitiva, coordenação motora fina e capacidade de abstração visual. A escrita cursiva, ao promover a ligação entre as letras, estimula a construção de representações mais robustas na memória ortográfica. Estudos apontam que esse tipo de prática contribui para o reconhecimento automático de palavras, favorecendo a leitura rápida e fluente em etapas posteriores (Suggate *et al.*, 2023; Van der Weel; Van der Meer, 2024; Ehri, 2014).

Nesse sentido, compreender as etapas da alfabetização e a importância das diferentes formas gráficas de letras é essencial para o planejamento pedagógico. A transição das letras bastão para a cursiva não deve ser vista apenas como uma mudança estética, mas como uma etapa de consolidação da leitura e escrita, capaz de ampliar as competências cognitivas e linguísticas das crianças e de preparar o terreno para práticas de letramento mais complexas e críticas.

2.7.2 Tecnologias Digitais no Apoio à Alfabetização

O uso intencional de tecnologias digitais no processo de alfabetização tem se mostrado, nas últimas décadas, um recurso pedagógico promissor para potencializar a aprendizagem e engajar crianças em fase inicial de escolarização. Pesquisas apontam que recursos tecnológicos, quando empregados de maneira planejada e alinhada aos objetivos curriculares, contribuem de forma

significativa para ampliar a exposição da criança à leitura e à escrita, ao mesmo tempo em que favorecem práticas de ensino mais dinâmicas e interativas.

Um dos aspectos mais valorizados nesse contexto é a possibilidade de feedback imediato, característica que diferencia os recursos digitais de muitas práticas tradicionais. Ao receberem respostas instantâneas sobre suas ações, os alunos podem corrigir erros rapidamente, reforçar acertos e ajustar sua compreensão em tempo real, o que estimula a aprendizagem ativa e promove maior autonomia (Hattie; Timperley, 2007). Entre as ferramentas digitais disponíveis, os aplicativos educativos e os jogos digitais ocupam papel de destaque. Além de proporcionarem atividades lúdicas que aumentam a motivação, esses recursos favorecem o desenvolvimento de habilidades cognitivas e linguísticas por meio de desafios, recompensas e interações visuais atrativas.

Um detalhe importante na elaboração desses aplicativos refere-se à escolha do tipo de letra utilizado. Em geral, a letra bastão é predominante nas interfaces voltadas para a alfabetização inicial, uma vez que seu formato padronizado reduz a complexidade visual e facilita a decodificação pelas crianças. Essa escolha pedagógica é consistente com o estágio inicial da alfabetização, no qual a clareza gráfica é essencial para a construção das primeiras associações entre fonemas e grafemas. Com o avanço do processo, torna-se necessário introduzir a letra cursiva, que exige maior maturidade cognitiva e coordenação motora.

Nos aplicativos digitais, essa transição pode ser simulada de forma gradual, refletindo a progressão natural das etapas da alfabetização. Ao possibilitar a passagem da letra bastão para a cursiva dentro de um mesmo recurso digital, respeita-se a evolução cognitiva da criança, evitando sobrecarga e assegurando que as atividades propostas sejam compatíveis com suas habilidades em desenvolvimento (Neumann, 2014). Em vista disso, o design pedagógico dos aplicativos não apenas acompanha o percurso escolar, mas também oferece condições para que o aprendiz avance com maior confiança e consistência. Outro campo de destaque no uso de tecnologias digitais para alfabetização é o das tecnologias imersivas, como a RV e os ambientes 360°. Esses recursos ampliam as possibilidades de ensino ao criar experiências que extrapolam o espaço físico da sala de aula, transportando os alunos para contextos simulados em que podem vivenciar de forma prática o conteúdo trabalhado. Por exemplo, é possível que uma criança em fase de alfabetização explore um ambiente virtual que simule uma biblioteca interativa, em que cada livro clicado emite sons, palavras ou histórias correspondentes, integrando elementos visuais e auditivos em um mesmo processo de aprendizagem.

Estudos sobre o uso de ambientes imersivos na educação apontam benefícios consistentes, como o engajamento, a personalização e a compreensão aprofundada. Além de aumentarem

a motivação e o interesse dos alunos, esses recursos contribuem para uma melhor assimilação de conteúdos complexos, uma vez que possibilitam a interação ativa com o objeto de estudo. Ademais, tais tecnologias permitem a personalização da aprendizagem, já que as atividades podem ser adaptadas ao ritmo, às necessidades e ao estilo de aprendizagem de cada aluno. Essa flexibilidade favorece não apenas crianças que avançam em ritmo acelerado, mas também aquelas que necessitam de maior tempo e apoio no processo de alfabetização (Hamilton *et al.*, 2021; Grewe; Gie, 2023; Makransky; Mayer, 2022). Portanto, a integração consciente e planejada das tecnologias digitais ao processo de alfabetização não deve ser vista como mera substituição de métodos tradicionais, mas como uma estratégia complementar que amplia as oportunidades de ensino e aprendizagem. Ao articular jogos, aplicativos e recursos imersivos, professores e educadores e desenvolvedores podem construir experiências pedagógicas mais ricas, capazes de promover não apenas a aquisição da leitura e escrita, mas também o desenvolvimento de competências cognitivas, sociais e emocionais fundamentais para a formação integral da criança.

2.7.3 Ambientes Virtuais de Aprendizagem

Os ambientes virtuais imersivos, incluindo salas virtuais em 360° e sistemas de RV, vêm sendo investigados no campo educacional devido ao seu potencial para ampliar o engajamento dos estudantes e favorecer experiências de aprendizagem mais interativas e ativas. Diferentemente dos recursos digitais convencionais, esses ambientes possibilitam a exploração de espaços tridimensionais e a interação com elementos virtuais em diferentes direções, combinando imersão espacial, estímulos visuais e diferentes modalidades de interação (Radianti *et al.*, 2020; Hamilton *et al.*, 2021).

A imersão proporcionada por esses ambientes pode favorecer uma participação mais ativa do aprendiz, uma vez que as atividades deixam de estar restritas à observação passiva de conteúdos e passam a envolver exploração, interação e resposta a estímulos presentes no espaço virtual. No contexto educacional, essa característica pode contribuir para a criação de experiências de aprendizagem mais envolventes, nas quais a interação com o ambiente constitui parte da própria atividade pedagógica.

No contexto da alfabetização, a utilização de ambientes imersivos pode ampliar as possibilidades de integração entre aprendizagem, exploração e ludicidade. A combinação de estímulos visuais, auditivos e motores permite a criação de experiências multimodais, nas quais diferentes formas de interação podem ser articuladas às atividades de leitura e escrita. Essa característica é particularmente relevante em propostas que buscam estimular a participação ativa dos

estudantes e aproximar o processo de aprendizagem de experiências interativas e significativas (Neumann, 2014; Radianti *et al.*, 2020).

Além da imersão, a interação constitui uma dimensão central desses ambientes. Recursos como navegação espacial, objetos virtuais interativos, feedback em tempo real e atividades gamificadas podem ser incorporados às experiências educacionais, contribuindo para a motivação, a autonomia e o envolvimento dos estudantes. Quando utilizada de forma intencional e articulada aos objetivos pedagógicos, a gamificação pode favorecer a participação do aprendiz e tornar as atividades educacionais mais dinâmicas (Radianti *et al.*, 2020; Shute, 2008; Plass; Homer; Kinzer, 2015).

Outro aspecto relevante diz respeito à possibilidade de integrar ambientes imersivos a mecanismos de participação colaborativa. A lógica do crowdsourcing e da inteligência coletiva demonstra que tarefas individuais podem, quando articuladas em uma estrutura colaborativa, contribuir para a construção ou validação de informações de interesse coletivo. Um exemplo dessa lógica é o reCAPTCHA, cuja concepção demonstrou a possibilidade de associar uma atividade realizada pelo usuário a processos de validação e aprimoramento de sistemas computacionais (Ahn *et al.*, 2008).

A aplicação desses princípios ao contexto educacional abre possibilidades para que atividades de aprendizagem sejam concebidas não apenas como experiências individuais, mas também como formas de participação em processos colaborativos de produção e validação de dados. No caso de atividades relacionadas à leitura e à escrita, essa perspectiva permite investigar como interações realizadas pelos estudantes podem, simultaneamente, atender a objetivos pedagógicos e contribuir para a geração de informações potencialmente úteis a pesquisas em inteligência artificial e HTR.

Dessa forma, os ambientes virtuais imersivos podem ser compreendidos como espaços tecnológicos capazes de articular imersão, interação, ludicidade e participação colaborativa. Sua utilização no contexto educacional amplia as possibilidades de desenvolvimento de experiências de aprendizagem que combinam recursos digitais e objetivos pedagógicos, ao mesmo tempo em que permite investigar novas formas de interação entre usuários e sistemas computacionais.

Nesse sentido, a literatura sobre ambientes virtuais de aprendizagem e tecnologias imersivas fornece fundamentos relevantes para a investigação de propostas que articulam alfabetização, interação digital e produção colaborativa de dados. Esses fundamentos são posteriormente retomados na metodologia desta pesquisa, na qual são apresentadas as decisões de concepção e desenvolvimento adotadas para investigar a abordagem proposta.

3 METODOLOGIA

Com o propósito de responder às limitações de reconhecimento identificadas no estudo exploratório com Tesseract (com palavras escritas em letra bastão por adultos) e consolidadas no levantamento da literatura, esta seção detalha os procedimentos metodológicos e as decisões de projeto que orientaram o desenvolvimento desta pesquisa. Trata-se de uma pesquisa aplicada, com objetivos de caráter exploratório e descritivo, voltada à concepção e avaliação de artefatos digitais relacionados ao HTR, tendo como objeto de investigação os artefatos desenvolvidos e como fenômeno a interação de professores e educadores com essas ferramentas, no contexto da alfabetização. As seções a seguir descrevem a caracterização da pesquisa, a estratégia e o fluxo metodológico adotados, os aspectos éticos envolvidos e os procedimentos empregados para a avaliação dos artefatos, cuja descrição detalhada é apresentada nas seções específicas dedicadas aos artefatos.

3.1 Caracterização da Pesquisa

Esta pesquisa caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza exploratória e descritiva (Gil, 2008), pois tem como objetivo desenvolver e avaliar artefatos digitais relacionados ao HTR cursivo. O objeto de investigação corresponde aos artefatos desenvolvidos, enquanto o fenômeno investigado consiste na interação de professores e educadores da Educação Básica com essas ferramentas. A alfabetização constitui o contexto de aplicação da pesquisa, no qual são exploradas atividades relacionadas à leitura e à transcrição de palavras manuscritas cursivas. A concepção dos artefatos articula princípios de IHC, tecnologias digitais e conceitos inspirados no crowdsourcing e na lógica do reCAPTCHA, sem que a efetividade de um mecanismo colaborativo completo constitua objeto de avaliação nesta pesquisa.

Quanto aos objetivos, a pesquisa possui natureza exploratória e descritiva. O caráter exploratório decorre da investigação de diferentes formas de interação de professores e educadores com ferramentas digitais relacionadas ao HTR cursivo, considerando a alfabetização como contexto de aplicação. O caráter descritivo manifesta-se na documentação dos procedimentos

metodológicos adotados, das avaliações realizadas com professores e educadores da Educação Básica e dos resultados obtidos a partir dos instrumentos quantitativos e qualitativos empregados. Os princípios do crowdsourcing e da lógica do reCAPTCHA integram a fundamentação conceitual da proposta, sendo explorados como possibilidades para a concepção e evolução dos artefatos.

A pesquisa foi conduzida em ciclos iterativos de concepção, desenvolvimento e avaliação de artefatos, em conformidade com os princípios da Design Science Research (Hevner *et al.*, 2004; Peffers *et al.*, 2007) contemplando diferentes etapas de investigação e culminando no desenvolvimento e na avaliação de dois artefatos digitais. O App *Manu* e a *Sala 360A* são apresentados detalhadamente na Seção 6, respectivamente, incluindo suas características, funcionalidades, modalidades de interação e procedimentos específicos de avaliação. Na presente seção, esses artefatos são considerados apenas no que diz respeito ao delineamento metodológico geral da pesquisa.

Em relação à abordagem metodológica, adotou-se uma estratégia de métodos mistos (Creswell; Clark, 2013), combinando procedimentos quantitativos e qualitativos de forma complementar para analisar diferentes dimensões da interação dos professores e educadores com os artefatos desenvolvidos e possibilitar a triangulação dos achados.

A abordagem quantitativa foi empregada na análise dos dados provenientes dos instrumentos de avaliação aplicados aos participantes. Para a avaliação da *Sala 360A* foi utilizado um questionário de aceitação inspirado no *Technology Acceptance Model* (TAM) (Davis, 1989), composto por dez afirmações em escala Likert de cinco pontos, contemplando aspectos relacionados à facilidade de uso percebida, utilidade pedagógica, clareza da interação baseada no olhar (gaze interaction) e conforto durante a utilização do ambiente. O tratamento dos dados quantitativos compreendeu estatística descritiva, avaliação da consistência interna do instrumento por meio do coeficiente Alpha de Cronbach (Cronbach, 1951) e representação gráfica dos resultados utilizando diagramas de caixa com dispersão de pontos (boxplots with jitter).

A abordagem qualitativa foi utilizada para analisar as respostas discursivas dos participantes e as observações registradas durante as sessões experimentais. Essa análise possibilitou identificar percepções sobre a experiência de uso, barreiras de usabilidade em RV, sugestões de aprimoramento da interface e oportunidades de evolução da abordagem proposta.

Em conformidade com os aspectos éticos da pesquisa, os estudos experimentais foram conduzidos exclusivamente com professores e educadores da Educação Básica atuando como especialistas validadores. Essa opção metodológica permitiu avaliar requisitos técnicos, ergonômicos e de usabilidade dos protótipos antes de futuras investigações envolvendo o público

infantil, preservando o caráter exploratório da pesquisa e respeitando as diretrizes éticas para pesquisas envolvendo seres humanos.

Dessa forma, o desenvolvimento dos dois artefatos foi organizado de maneira incremental, permitindo investigar inicialmente a dinâmica fundamental da proposta em uma aplicação móvel e, posteriormente, sua extensão para um ambiente virtual imersivo. A descrição detalhada desses artefatos, bem como dos procedimentos empregados em seu desenvolvimento e avaliação, é apresentada na Seção 6.

3.2 Estratégia Metodológica

A estratégia metodológica desta pesquisa foi estruturada em ciclos iterativos de construção e avaliação (build-and-evaluate), característicos da Design Science Research (DSR) (Hevner *et al.*, 2004), a partir de evidências experimentais e teóricas obtidas ao longo da investigação. Inicialmente, o experimento exploratório com a ferramenta Tesseract OCR (Palhanos; Salas, 2022) permitiu identificar limitações no reconhecimento automático de palavras manuscritas. Em seguida, o levantamento da literatura contribuiu para a identificação e sistematização de abordagens relacionadas ao HTR e às possibilidades de integração entre tecnologias digitais e atividades de alfabetização. Com base nesse percurso, foram concebidos e desenvolvidos os artefatos investigados nesta dissertação e, posteriormente, realizadas avaliações com professores e educadores da Educação Básica.

Esses achados subsidiaram a condução do levantamento da literatura e fundamentaram o desenvolvimento da solução proposta nesta dissertação, cujas etapas são detalhadas a seguir.

A Figura 2 sintetiza as principais etapas metodológicas desta pesquisa. A partir da questão de pesquisa, foi realizado um experimento exploratório com o Tesseract OCR, seguido por um levantamento da literatura voltado ao estado da arte em HTR e às possibilidades de articulação entre tecnologias digitais e alfabetização. Com base nas evidências obtidas nessas etapas, foram concebidos e desenvolvidos dois artefatos digitais (o App *Manu* (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026a), em ambiente bidimensional, e a *Sala 360A* (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026b), em ambiente tridimensional imersivo), apresentados na Seção 6. Posteriormente, os artefatos foram avaliados com professores e educadores da Educação Básica, permitindo investigar sua usabilidade, aceitação e diferentes aspectos da interação dos participantes com as ferramentas.



Figura 2: Fluxo metodológico da pesquisa.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

3.3 Tratamento Ético e Manejo dos Dados

A condução desta pesquisa, que envolve a avaliação de artefatos digitais por professores e educadores da Educação Básica no contexto da alfabetização, exige atenção às diretrizes éticas aplicáveis à participação de seres humanos e ao tratamento dos dados obtidos. Esta seção apresenta os procedimentos adotados para preservar a privacidade dos participantes, garantir a participação voluntária e delimitar o escopo das avaliações realizadas. Também são explicitadas as condições relacionadas ao caráter simulado das atividades de transcrição e à não participação de crianças nos experimentos.

3.3.1 Conformidade Ética e Consentimento com Educadores

Sob a perspectiva ética, foram adotados procedimentos destinados a respeitar as diretrizes aplicáveis a pesquisas envolvendo seres humanos (Conselho Nacional de Saúde, 2012, 2016). O processo de avaliação dos artefatos desenvolvidos (App *Manu* e *Sala 360A*) envolveu exclusivamente participantes adultos, constituídos por professores e educadores da Educação Básica atuantes no contexto da alfabetização. Esses participantes foram convidados a avaliar aspectos relacionados à interação, à usabilidade e à aceitação das ferramentas, não sendo considerados representantes do público infantil nem substitutos de avaliações futuras com crianças.

A participação dos educadores ocorreu por meio de procedimentos de avaliação de natureza mista, utilizando instrumentos quantitativos e qualitativos adequados às características de cada artefato. Os detalhes dos participantes, instrumentos e procedimentos específicos empregados na avaliação do App *Manu* e da *Sala 360A* são apresentados nas respectivas seções dedicadas aos artefatos.

Antes do acesso aos instrumentos de avaliação, todos os participantes foram devidamente informados no cabeçalho dos formulários digitais e verbalmente sobre os objetivos da pesquisa, a garantia de anonimato, a ausência de riscos ou custos e o caráter voluntário da participação. A adesão espontânea, expressa pelo preenchimento e envio dos questionários online e pelo aceite em conceder as entrevistas, caracterizou o consentimento voluntário e tácito dos participantes, assegurando-lhes o direito de desistência ou interrupção a qualquer momento, sem qualquer tipo de prejuízo.

3.3.2 Privacidade, Anonimização e Segurança das Informações

Para resguardar a identidade dos especialistas envolvidos, adotou-se um protocolo de anonimidade nativa durante todo o processo de coleta e análise dos dados quantitativos e qualitativos:

- **Coleta Estritamente Anônima nos Formulários:** Os formulários eletrônicos de avaliação (contendo as escalas e as perguntas abertas) foram configurados para não solicitar nem registrar nomes, e-mails, endereços de IP ou quaisquer atributos de identificação pessoal e sociodemográfica dos participantes, garantindo o anonimato desde a origem e prevenindo viés de resposta.
- **Preservação da Identidade nas Entrevistas:** Os docentes participantes das entrevistas individuais tiveram suas identidades estritamente preservadas, sendo referenciados de forma genérica em suas respectivas seções de análise, com a omissão total de nomes, e-mails, vínculos institucionais ou quaisquer dados pessoais no texto principal e nos apêndices.
- **Armazenamento Seguro e Restrito:** Os dados brutos das avaliações (métricas e respostas abertas) foram armazenados com acesso restrito à pesquisadora. As duas entrevistas individuais foram gravadas em áudio, com aceite verbal dos participantes registrado no início da gravação, e transcritas com a ferramenta Google Pinpoint. Os arquivos de áudio permanecem em acesso restrito. As transcrições não contêm nomes, e-mails, vínculos institucionais ou outros dados identificáveis.
- **Uso Exclusivamente Científico:** As respostas e métricas consolidadas são apresentadas no texto de forma agregada ou por meio de trechos identificados apenas por número (Participante N), sem qualquer dado que permita a identificação dos participantes, destinando-se à análise científica da interação dos participantes com os artefatos e à produção acadêmica decorrente da pesquisa.

3.3.3 Diretrizes Éticas, Ausência de Coleta Real e Proteção ao Público Infantil

Embora os artefatos desenvolvidos tenham sido concebidos para aplicação no contexto da alfabetização, as avaliações realizadas nesta pesquisa envolveram exclusivamente professores e educadores adultos. A pesquisa não foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP). Não houve participação de crianças em nenhuma das etapas de avaliação, teste ou interação com os artefatos. Foram adotados procedimentos de consentimento voluntário, anonimização

das respostas e preservação da identidade dos participantes. As entrevistas foram gravadas em áudio e os dados coletados foram utilizados exclusivamente para fins acadêmicos e apresentados de forma anonimizada:

- **Caráter Simulado via Transcrição de Palavras Lidas:** As atividades realizadas com os artefatos ocorreram em contexto de avaliação exploratória com professores e educadores, com caráter simulado no que se refere à geração e validação de dados para HTR cursivo.
- **Preservação da Finalidade Pedagógica:** Como diretriz para trabalhos futuros que venham a implementar a coleta direta de amostras manuscritas cursivas com crianças, estabelece-se que as atividades devem manter sua finalidade pedagógica primária, operando de forma não intrusiva e sem solicitar dados de identificação pessoal dos estudantes (*Privacy by Design*).

3.3.4 Síntese da Viabilidade Ética

A articulação entre a preservação da privacidade dos educadores avaliadores, a condução de testes baseados em simulações por transcrição e a delimitação clara quanto ao público avaliador demonstra que a pesquisa reúne condições consistentes de viabilidade ética. Dessa forma, assegura-se que a proposta seja cientificamente fundamentada, socialmente responsável e alinhada aos compromissos éticos inerentes ao desenvolvimento de tecnologias voltadas à educação.

3.4 Estratégias de análise dos dados

Esta seção apresenta os procedimentos adotados para o processamento e a análise dos dados obtidos durante os ciclos de avaliação dos protótipos relacionados à abordagem proposta: o protótipo do App *Manu* e o ambiente imersivo *Sala 360A*.

Tabela 1: Ferramentas utilizadas ao longo da pesquisa.

Fase	**Ferramenta(s)**
Levantamento da Literatura	Parsifal
Prototipação do App *Manu*	Figma
Desenvolvimento da *Sala 360A*	A-Frame (framework WebXR/JavaScript)
Coleta de dados (questionários)	Google Forms
Processamento e análise quantitativa	Python

Considerando a abordagem de métodos mistos empregada nesta pesquisa, foram utilizados procedimentos quantitativos e qualitativos de forma complementar, permitindo analisar tanto os resultados dos instrumentos de avaliação quanto as percepções registradas pelos participantes durante os testes.

Inicialmente, realizou-se a análise quantitativa dos dados provenientes dos questionários aplicados aos participantes para a avaliação de ambas as soluções. No caso do App *Manu*, calculou-se o score global do instrumento SUS (Brooke, 1996), permitindo mensurar a usabilidade percebida da primeira versão do protótipo. De forma análoga, para a *Sala 360A*, foram analisadas as respostas ao questionário de avaliação da experiência imersiva, aplicando-se estatística descritiva e verificação da consistência interna do instrumento baseado no TAM.

Em seguida, procedeu-se à análise qualitativa das respostas abertas e das observações relacionadas à experiência de uso, buscando identificar padrões relacionados à usabilidade, à interação, ao envolvimento e ao potencial pedagógico da proposta.

3.4.1 Análise quantitativa

A análise quantitativa contemplou os dados obtidos nos dois ciclos sequenciais de avaliação da abordagem proposta, abrangendo os testes do App *Manu* e da *Sala 360A*.

No primeiro ciclo, voltado à validação preliminar do protótipo do App *Manu*, a usabilidade percebida foi mensurada por meio do instrumento SUS junto a cinco participantes ($N = 5$). O cálculo do score global seguiu o procedimento padrão padronizado do instrumento, consolidando os valores em uma escala de 0 a 100. Dada a reduzida amostra ($N = 5$), não se calculou o coeficiente Alfa de Cronbach para esse ciclo, por não fornecer estimativa de confiabilidade estável com tão poucos respondentes; os resultados foram analisados de forma descritiva (médias por item e score SUS).

No segundo ciclo, referente à *Sala 360A*, a aceitação da tecnologia e a experiência do usuário foram mensuradas com vinte educadores ($N = 20$) por meio de um questionário em escala Likert de cinco pontos baseado no TAM. Para o tratamento dos dados dessa etapa, aplicaram-se técnicas de estatística descritiva (médias e desvios-padrão) e verificação da confiabilidade do instrumento via coeficiente Alpha de Cronbach (α).

O processamento, a apuração das métricas e a geração dos gráficos (incluindo diagramas do tipo *boxplot* com sobreposição de pontos) foram executados em ambiente Python.

3.4.2 Análise qualitativa

A análise qualitativa contemplou, nos dois estudos, as respostas às questões abertas do questionário (5 participantes no App *Manu* e 20 na *Sala 360A*) e a transcrição de uma entrevista individual por estudo, realizada com um docente em cada caso. As respostas abertas e o registro da entrevista foram utilizados de forma complementar aos dados quantitativos, buscando identificar aspectos relacionados à usabilidade, à interação e ao potencial pedagógico da proposta.

O objetivo dessa abordagem foi complementar os dados quantitativos, permitindo analisar em profundidade as percepções dos participantes quanto à usabilidade, à dinâmica de interação e ao potencial de aplicação das soluções em contextos educacionais.

Os dados qualitativos foram submetidos à categorização temática (Braun; Clarke, 2006). Para o App *Manu*, o foco esteve na identificação de pontos fortes da interface e oportunidades de aprimoramento do fluxo móvel. Para a *Sala 360A*, as manifestações foram agrupadas em três eixos principais de análise: valor educacional, usabilidade/interação e possibilidades de melhoria.

3.5 Uso de Inteligência Artificial Generativa

Em conformidade com as diretrizes institucionais sobre o uso de Inteligência Artificial Generativa (IAG) na produção de trabalhos acadêmicos, declara-se que as ferramentas ChatGPT, Gemini e Claude foram utilizadas ao longo desta pesquisa como apoio à redação acadêmica, auxiliando na reformulação estilística de trechos a partir de ideias e argumentos previamente elaborados pela autora, e as ferramentas ChatGPT e Google Colab foram utilizadas na geração de diagramas, gráficos e ilustrações apresentados ao longo do texto, posteriormente ajustados e editados pela autora por meio do editor de imagens GIMP. A concepção da proposta, a análise dos resultados e as conclusões apresentadas são de responsabilidade exclusiva da autora.

4 EXPERIMENTO EXPLORATÓRIO

Em um estudo exploratório (Palhanos; Salas, 2022), foram avaliadas as limitações da ferramenta OCR para Python, Tesseract, no reconhecimento de palavras manuscritas em letra bastão. O objetivo do experimento foi verificar até que ponto a Tesseract, amplamente reconhecida por seu desempenho em textos impressos, seria capaz de interpretar corretamente a escrita manual, especialmente quando produzida por diferentes indivíduos. Essa investigação constituiu um passo essencial para o delineamento da presente pesquisa, pois forneceu evidências empíricas sobre as dificuldades enfrentadas por sistemas de reconhecimento automático ao lidar com manuscritos humanos.

Cabe destacar que o Tesseract não é a única ferramenta disponível para tarefas de OCR e HTR. Entre as alternativas mais consolidadas, destacam-se o EasyOCR (JaidedAI, 2020), o Google Cloud Vision OCR (Google, s.d.), o TrOCR (Li *et al.*, 2023) (baseado em arquitetura transformer e voltado especificamente ao HTR) e o Kraken (Kiessling, 2019), orientado a manuscritos históricos. Mais recentemente, modelos como o HTR-VT (Li *et al.*, 2025b) e abordagens baseadas em Vision-Language Models de propósito geral (Crosilla; Klic; Colavizza, 2025) têm apresentado resultados promissores para o HTR, ainda que sua adoção como baseline de referência permaneça incipiente frente a soluções mais consolidadas. A escolha do Tesseract como ferramenta de referência para o experimento exploratório se justifica por se tratar de uma solução open source, amplamente adotada e consolidada na literatura de OCR, além de apresentar ampla documentação e facilidade de reprodutibilidade (características desejáveis para um estudo exploratório inicial), cujo objetivo não era comparar exaustivamente as ferramentas disponíveis, mas evidenciar as limitações das abordagens convencionais de reconhecimento óptico aplicadas à escrita manuscrita.

4.1 Procedimentos metodológicos

A metodologia adotada consistiu em convidar dez adultos (cinco homens e cinco mulheres) para escrever sete palavras em português (ABACAXI, DOMINGO, JAVALI, FORTALEZA,

PESQUISA, KETCHUP e WENDY), em letra bastão maiúscula, com cerca de 1 cm, usando caneta ou lápis em uma folha de papel (tipos variados) sem pauta ou pautada. As palavras foram escolhidas de modo que o conjunto contivesse todas as letras do alfabeto ao menos uma vez. Não houve padronização quanto ao espaçamento ou ao formato das letras, de modo que a variabilidade natural da escrita pudesse ser observada e analisada em relação ao desempenho do reconhecimento automatizado. Em seguida, os participantes fotografaram as folhas com seus próprios dispositivos móveis e enviaram as imagens à pesquisadora, conforme exibido na Figura 3. Como a coleta foi realizada de forma remota, não houve controle sobre o modelo do dispositivo, a resolução, a iluminação, a distância ou o ângulo de captura, o que reproduz condições típicas de uso cotidiano. As imagens foram recebidas em formato JPEG.



Figura 3: Amostra com palavras manuscritas em letra bastão.

Fonte: Acervo da autora (2026).

A pesquisadora recortou manualmente cada palavra das folhas recebidas, com o auxílio de um editor de imagens GIMP, e salvou cada recorte em um arquivo JPEG individual, conforme ilustrado pela amostra da palavra ABACAXI de cada participante na Figura 4. Os arquivos foram então submetidos à extração textual por meio de um script em Python (versão 3.7.13), executado no ambiente do Google Colab.

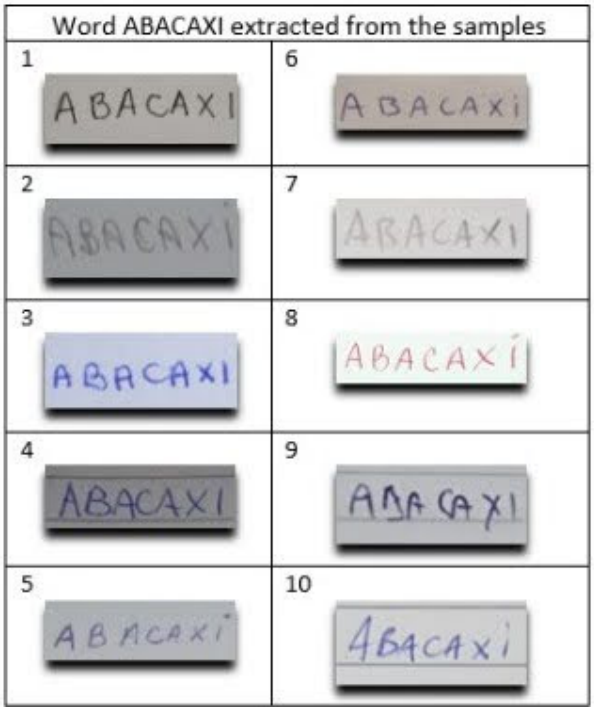


Figura 4: Amostra com a palavra ABACAXI manuscrita em letra bastão.

Fonte: Acervo da autora (2026).

Para o pré-processamento das imagens, foi utilizada a biblioteca OpenCV (Bradski, 2000), com a delimitação de cada letra por caixas delimitadoras (bounding boxes) e a binarização das imagens, conforme o algoritmo descrito no experimento (Palhanos; Salas, 2022). Os parâmetros numéricos específicos de cada operação não foram registrados na publicação original, e o código não fixava as versões dos pacotes na instalação. As versões indicadas neste trabalho correspondem, portanto, às disponíveis no ambiente do Google Colab em maio de 2022. Essa etapa foi necessária para tentar aproximar as imagens manuscritas das condições ideais esperadas pelos algoritmos de OCR, que tradicionalmente operam sobre textos impressos com fontes padronizadas e fundos uniformes. Após o tratamento, as amostras foram processadas pelo motor Tesseract OCR (versão 4.1.1), por meio da biblioteca pytesseract (versão 0.3.9), cuja função principal é converter imagens contendo texto em caracteres codificados digitalmente. O Tesseract foi configurado para o idioma português, de modo que as palavras fossem reconhecidas nesse idioma; os demais parâmetros (OEM e PSM) não foram registrados. Nenhuma etapa de correção ortográfica foi aplicada, e as saídas avaliadas correspondem ao resultado bruto do Tesseract. Cabe observar que o artigo que originou este experimento (Palhanos; Salas, 2022) descreve uma aplicação com uma etapa adicional de correção ortográfica (pacote Autocorrect), não utilizada na avaliação aqui relatada. O ambiente computacional e os parâmetros utilizados estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 2: Ambiente e parâmetros do experimento exploratório

Componente	**Especificação**
Ambiente de execução	Google Colab
Sistema operacional	Ubuntu 18.04 / 20.04
Python	3.7.13
Tesseract OCR (Motor do Linux)	4.1.1
pytesseract	0.3.9
Idioma do Tesseract	Português
OEM / PSM	Não registrados
OpenCV (*opencv-python*)	4.5.5.64
Pré-processamento	Caixas delimitadoras (*bounding boxes*) e binarização; parâmetros numéricos não registrados
Correção ortográfica	Não aplicada (saída bruta do Tesseract)
Amostra	10 adultos (5 homens e 5 mulheres); 7 palavras em português; 70 amostras
Escrita	Letra bastão maiúscula, com cerca de 1 cm; caneta ou lápis; papel sem pauta ou pautado
Dispositivos de captura	Dispositivos móveis dos próprios participantes (modelos não registrados)
Recorte das palavras	Manual, em editor de imagens GIMP
Formato das imagens	JPEG

Fonte: Elaborada pela autora (2026), com base em Palhanos (Palhanos; Salas, 2022). As versões correspondem às disponíveis no Google Colab em maio de 2022, pois o código não fixava versões na instalação dos pacotes.

4.1.1 Critério de avaliação

A saída do Tesseract foi comparada com a palavra esperada por inspeção da pesquisadora. Foram classificadas como reconhecidas as palavras cuja saída coincidiu integralmente com a esperada; como parcialmente reconhecidas, aquelas em que a palavra permaneceu identificável, mas com substituição, omissão ou inserção de caracteres (por exemplo, "FORTRLE ZA"para FORTALEZA); e como não reconhecidas, aquelas em que a saída ficou ininteligível ou sem

correspondência com a palavra esperada (por exemplo, "Wevoy"para WENDY).

4.2 Resultados

Os resultados quantitativos do experimento, classificados conforme o critério descrito na Seção 4.1.1, evidenciam a magnitude das limitações observadas: das 70 palavras testadas, apenas 15 (21,4%) foram corretamente reconhecidas pela ferramenta Tesseract, 21 (30,0%) foram parcialmente reconhecidas e 34 (48,6%) não foram reconhecidas.

A Tabela 3 sintetiza esses resultados. Esse desempenho, obtido mesmo com amostras de escrita em letra bastão produzidas por adultos, portanto, grafias tipicamente mais regulares do que a escrita infantil em fase de alfabetização, reforça a necessidade de abordagens especializadas em HTR, evidenciando que a simples adaptação de ferramentas de OCR tradicionais é insuficiente mesmo em cenários favoráveis de variabilidade gráfica.

Tabela 3: Resultados quantitativos do experimento exploratório com Tesseract.

Categoria	**N**	**%**
Reconhecidas	15	21,4%
Parcialmente reconhecidas	21	30,0%
Não reconhecidas	34	48,6%
Total	**70**	**100%**

Fonte: Elaborada pela autora, com base em Palhanos (Palhanos; Salas, 2022)

Os resultados obtidos revelaram limitações expressivas no desempenho da ferramenta. Em alguns casos, apenas parte das palavras foi corretamente reconhecida; em outros, o sistema apresentou erros sistemáticos na interpretação de caracteres individuais. A letra “I” maiúscula foi a que apresentou maior índice de confusão: quando grafada de forma semelhante ao caractere tipográfico “I”, a ferramenta fornecia resultados mais precisos, caso contrário, retornava caracteres incorretos, como “\”, “|” ou o número “1” conforme exibido na Figura 5.

Outros erros recorrentes incluíram a confusão da letra “B” com “R”, da letra “A” com o número “4”, da letra “Z” com o número “2”, e ainda a substituição da letra “J” por “S”. Em vários casos, as letras “C” e “U” foram reconhecidas como “O”, e a própria “U” foi interpretada como “V” (Figuras 5 e 6). Essas trocas refletem a dificuldade do algoritmo em diferenciar curvas, ângulos e conexões típicas da escrita humana, especialmente em situações em que os traços não apresentam espessura ou espaçamento uniformes.

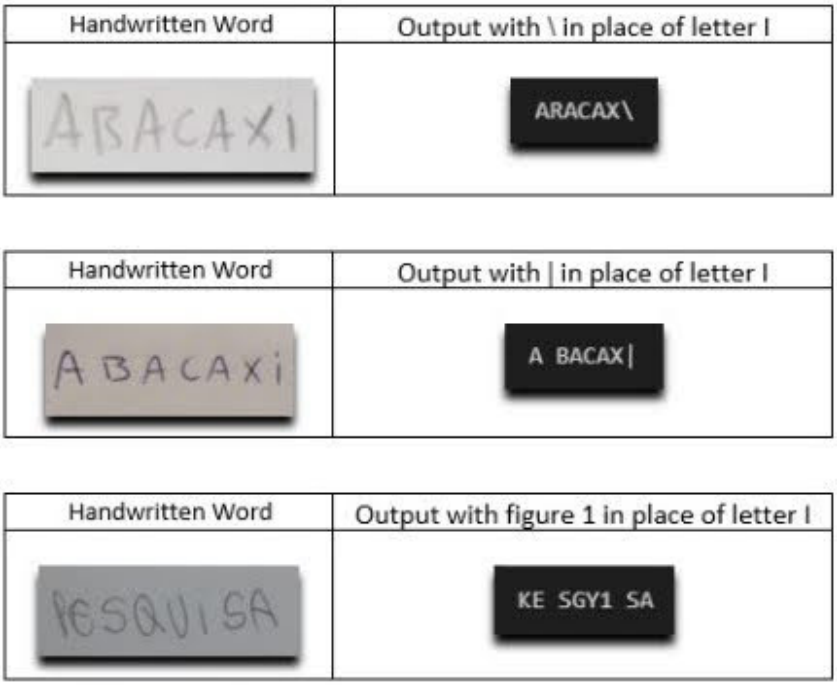


Figura 5: Letra I com maior número de interpretações erradas.
Fonte: Acervo da autora (2026).

Esses resultados evidenciam o impacto direto da variabilidade da escrita manuscrita na acurácia da Tesseract. Por ter sido originalmente projetada para reconhecer fontes impressas padronizadas, a ferramenta não dispõe de mecanismos robustos para lidar com as irregularidades da escrita manuscrita, como variações de inclinação, pressão da caneta, conectividade entre caracteres e sobreposição de traços. Além disso, como a Tesseract depende fortemente de etapas de segmentação prévias, ou seja, da separação correta entre caracteres e palavras, qualquer falha nessa fase compromete o desempenho global do reconhecimento. Embora o uso da OpenCV tenha permitido algumas correções na definição das imagens, não foi suficiente para superar as limitações estruturais do modelo.

4.3 Discussão dos achados

O experimento revelou que o reconhecimento automático de manuscritos ainda demanda abordagens especializadas, como as empregadas em sistemas de HTR (Handwritten Text Recognition), que utilizam redes neurais recorrentes, aprendizado profundo e modelagem de sequência de caracteres. Do ponto de vista científico, o experimento com a Tesseract foi decisivo por demonstrar, de maneira prática e visual, as lacunas existentes entre o reconhecimento de texto impresso e o manuscrito. Ele mostrou que a simples adaptação de ferramentas tradicionais não é suficiente para lidar com a complexidade da escrita humana. Do ponto de vista pedagógico,

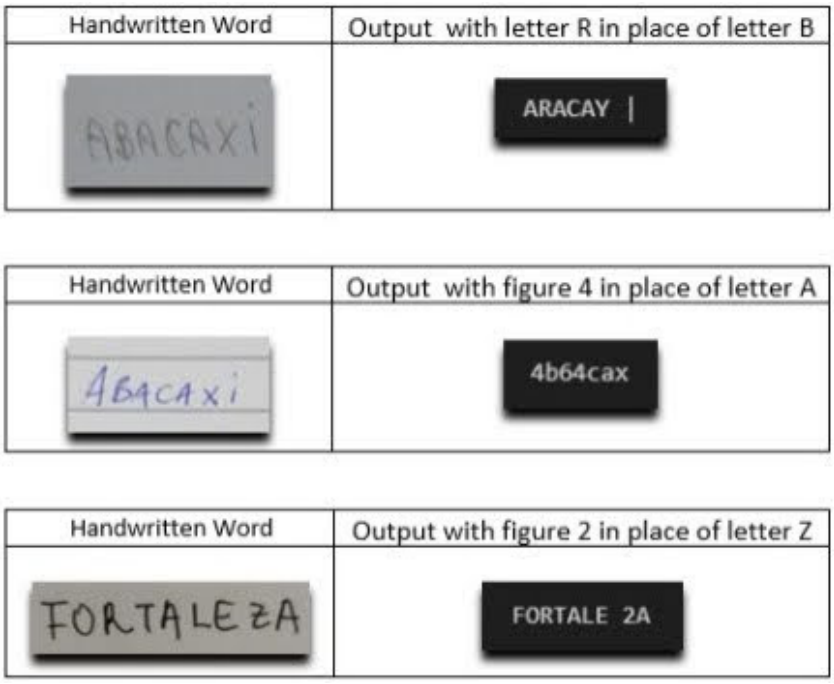


Figura 6: R, 4 e 2 no lugar de B, A e Z.
Fonte: Acervo da autora (2026).

os resultados apontaram para uma nova direção: a necessidade de criar ambientes simulados nos quais a escrita manuscrita pudesse ser reproduzida, analisada e validada de forma interativa, oferecendo ao mesmo tempo reforço à alfabetização e insumos para futuras pesquisas em HTR. Cabe ressaltar que os resultados refletem uma configuração única do Tesseract e do OpenCV, sem otimização de parâmetros por amostra e sem correção ortográfica, com 70 palavras escritas por dez adultos. Assim, o experimento não estabelece o limite de desempenho da ferramenta, mas evidencia seu comportamento em condições típicas de uso, o que é suficiente para o objetivo exploratório da pesquisa.

4.4 Síntese e implicações para a pesquisa

Esse experimento foi fundamental para o delineamento da presente pesquisa, pois demonstrou as limitações práticas da ferramenta Tesseract em lidar com palavras manuscritas e reforçou a necessidade de ambientes alternativos que simulem a transcrição de palavras. Nesse sentido, um ambiente imersivo surge como estratégia não apenas de reforço pedagógico, mas também de simulação da coleta de dados que, futuramente, poderão contribuir para o desenvolvimento de sistemas de HTR mais robustos. A partir dessas constatações, propõe-se o uso de um ambiente que busca aliar imersão, gamificação e simulação de coleta de dados como resposta direta às limitações identificadas no experimento. Nesse ambiente imersivo, as crianças realizam

atividades de transcrição de palavras cursivas, simulando o processo de validação automática do reCAPTCHA, o que permite gerar dados estruturados semelhantes aos de um sistema de reconhecimento manuscrito, porém em um contexto pedagógico e controlado.

Assim, um ambiente imersivo não apenas reforça o aprendizado da leitura e escrita, mas também abre caminho para a formação de um banco de dados colaborativo, capaz de subsidiar o desenvolvimento de algoritmos mais precisos e sensíveis à variabilidade da escrita humana. Em síntese, o experimento com a Tesseract, apesar de suas limitações, cumpriu papel fundamental ao evidenciar o desafio de reconhecer palavras manuscritas em letra cursiva e ao inspirar a concepção de um ambiente mais avançado e contextualizado.

5 TRABALHOS RELACIONADOS

Com o intuito de fundamentar conceitualmente a presente pesquisa e identificar as principais lacunas na literatura, esta seção apresenta os trabalhos relacionados ao HTR cursivo, levantados por meio de uma busca estruturada na literatura, conduzida segundo as diretrizes do PRISMA. Por se tratar de uma busca delimitada (bases, string de busca e critérios de inclusão específicos), o levantamento não pretende esgotar a literatura da área, mas mapear estratégias, limitações e desafios recorrentes e posicionar a abordagem proposta em relação a eles. Embora se trate de trabalhos relacionados, a busca foi estruturada com questões de pesquisa e modelo PICOC para assegurar a transparência dos critérios de seleção e a reprodutibilidade do levantamento.

5.1 Procedimentos metodológicos

A transcrição automática de textos manuscritos cursivos enfrenta desafios complexos no reconhecimento óptico de caracteres (OCR/HTR), decorrentes da conectividade entre grafemas, da ausência de limites definidos e da alta variabilidade caligráfica (Balaha; Ali; Badawy, 2021). Esses obstáculos são acentuados em *scripts* complexos (como árabe, bengali e cingalês). Embora abordagens baseadas em Aprendizado Profundo, pré-processamento avançado e aumento de dados venham apresentando avanços expressivos, a escassez de conjuntos de dados diversificados e representativos permanece como uma limitação central para a generalização dos modelos.

Diante desse cenário, para assegurar a reprodutibilidade, o rigor científico e a transparência na seleção e análise dos estudos, os procedimentos deste levantamento foram conduzidos seguindo as diretrizes PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Moher *et al.*, 2009).

5.1.1 Questões de Pesquisa e Modelo PICOC

Para guiar a investigação e mapear as estratégias e arquiteturas propostas na literatura recente, foram formuladas as seguintes Questões de Pesquisa (QP):

- **QP1 (Arquiteturas e Modelos):** Quais estratégias e modelos de Aprendizado Profundo têm sido empregados para melhorar a classificação de palavras cursivas em sistemas OCR/HTR?
- **QP2 (Pré-processamento e Aumento de Dados):** Quais técnicas de segmentação e geração sintética de dados (ex.: GANs) são utilizadas para mitigar a conectividade dos caracteres e o desbalanceamento de bases?
- **QP3 (Lacunas e Desafios):** Quais limitações remanescentes na literatura justificam a criação de novas abordagens para a coleta e anotação de dados em contextos variados?

Adicionalmente, a caracterização do escopo do estudo foi delimitada segundo a estrutura PICOC (Petticrew; Roberts, 2008): **P (População)** para imagens/textos manuscritos cursivos; **I (Intervenção)** para estratégias de OCR/HTR aplicadas à melhoria da classificação; **C (Comparação)** entre diferentes algoritmos e arquiteturas neurais; **O (Desfecho)** na melhoria do desempenho (acurácia, precisão, WER, tempo); e **C (Contexto)** referente à aplicação de tecnologias de reconhecimento em cenários de escrita cursiva.

5.1.2 Bases de Dados, Termos de Pesquisa e Critérios

As buscas foram realizadas na base multidisciplinar *Web of Science* (abrangendo periódicos Springer e Elsevier) e nas bases específicas *IEEE Xplore Digital Library* e *ACM Digital Library*. A *string* de busca utilizada combinou os seguintes operadores booleanos e palavras-chave:

> ("cursive handwriting"OR "handwritten text") AND ("Deep Learning OCR"OR ("Deep Learning and Optical Character Recognition")) AND ("classification performance"OR "classification accuracy")

Os critérios estabelecidos para a triagem e elegibilidade das publicações foram:

- **Critérios de Inclusão:** Artigos publicados entre 2015 e 2024; estudos com soluções implementadas e testadas diretamente na tecnologia OCR/HTR para palavras cursivas; e publicações revisadas por pares.

- **Critérios de Exclusão:** Artigos desalinhados do tema principal, estudos com relevância apenas parcial e publicações sem acesso completo ao texto integral.

5.1.3 Processo e Fluxo de Seleção

Para a condução otimizada do protocolo, utilizou-se a plataforma Parsifal (Stefanović *et al.*, 2021). Após a busca inicial, foram removidas as duplicatas identificadas nas bases *Web of Science* e *IEEE Xplore Digital Library*. Na etapa de elegibilidade, os 61 registros da *ACM Digital Library* foram excluídos por restrições de acesso institucional, e os demais foram avaliados segundo os critérios de inclusão e exclusão. O detalhamento do fluxo de identificação, exclusão e seleção final dos artigos está representado na Figura 7.

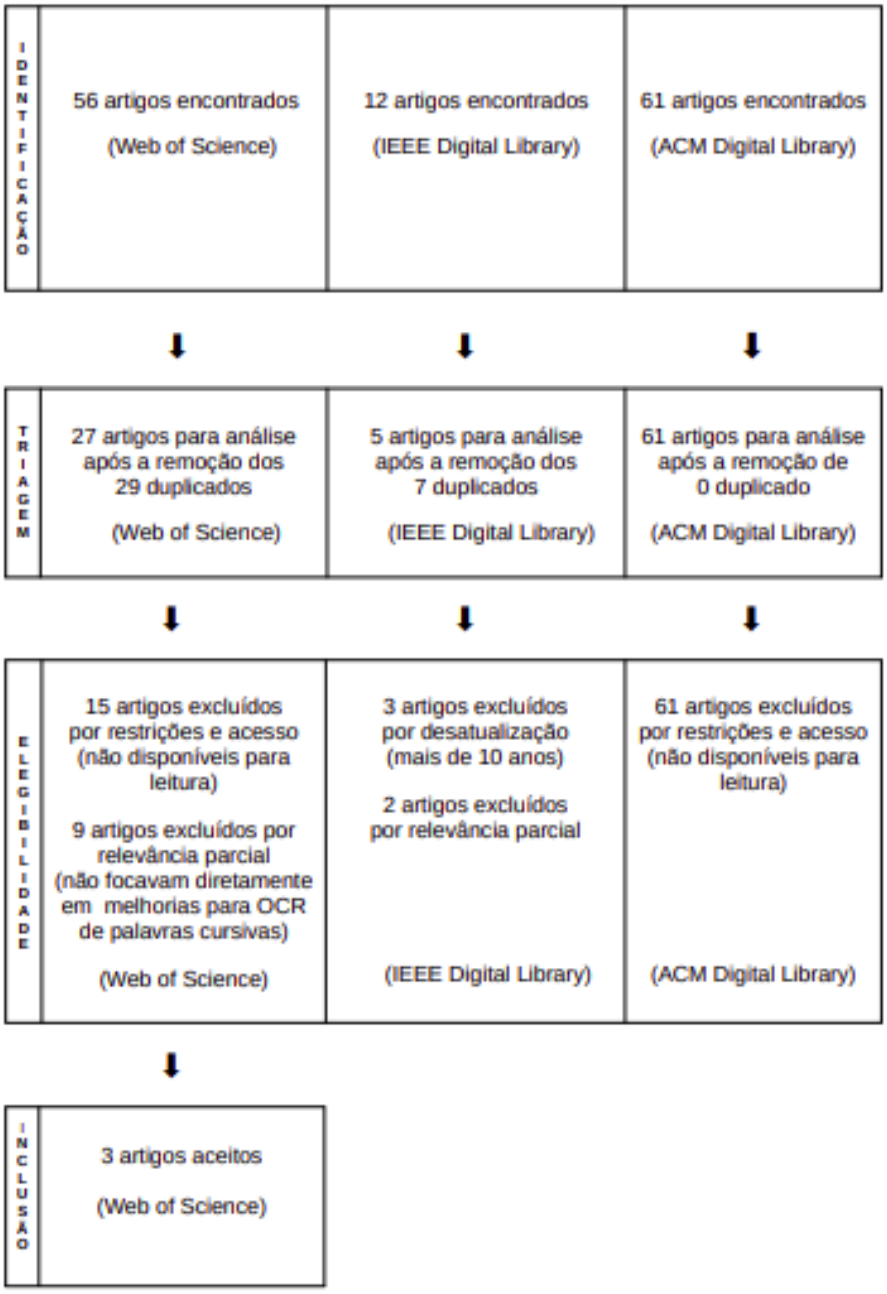


Figura 7: Diagrama do fluxo de seleção PRISMA.

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

5.2 Resultados

Esta seção apresenta a síntese dos achados obtidos a partir do processo de triagem e análise crítica da literatura selecionada.

5.2.1 Descrição Geral dos Estudos Selecionados

A busca inicial retornou 56 artigos na *Web of Science*, 12 na *IEEE Xplore Digital Library* e 61 na *ACM Digital Library*, totalizando 129 registros. Os 61 registros provenientes da *ACM Digital Library* foram excluídos da análise por restrições de acesso institucional.

Entre os 68 registros restantes, foram removidas 29 duplicatas na *Web of Science* e 7 na *IEEE Xplore*, resultando em 32 artigos para avaliação de elegibilidade. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 3 artigos, todos provenientes da *Web of Science*, conforme sintetizado na Tabela 4. O detalhamento das justificativas de descarte encontra-se registrado nos Apêndices A.1 e A.2.

O número reduzido de estudos incluídos decorre da especificidade da string de busca, dos critérios de elegibilidade (soluções implementadas e testadas diretamente em palavras cursivas) e da exclusão da ACM Digital Library por restrição de acesso. Por isso, os achados são tratados como trabalhos relacionados, e não como síntese exaustiva da área.

Tabela 4: Artigos incluídos no escopo final do levantamento

Autor(es) e Ano	**Título do Artigo**	**Periódico / Evento**	**Base**
Islam et al. (2024)	ADOCRNet: A Deep Learning OCR for Arabic Documents Recognition	*IEEE Access*	WoS
Alam et al. (2021)	A Large Multi-Target Dataset of Common Bengali Handwritten Graphemes	*16th IAPR ICDAR*	WoS
Gomez et al. (2021)	Intelligent Digitalization of the Sinhala Form Templates	*IEEE TENCON*	WoS

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

5.2.2 Técnicas de Aprendizado Profundo Identificadas

Os trabalhos selecionados demonstraram o predomínio de arquiteturas neurais profundas para lidar com a complexidade dos *scripts* cursivos:

- **ADOCRNet** (Islam *et al.*, 2024): Combina Redes Neurais Convolucionais (CNNs) e Memória de Longo e Curto Prazo Bidirecional (BLSTM) com o algoritmo *Connectionist Temporal Classification* (CTC), alcançando uma Taxa de Erro de Palavras (WER) de apenas 1,09% em manuscritos árabes.
- **Classificação Multi-Alvo** (Alam *et al.*, 2021): Utiliza uma abordagem de decomposição em grafemas multi-alvo (radicais, diacríticos de vogais e consoantes) para o idioma bengali, aumentando a acurácia no reconhecimento de grafemas fora do vocabulário.

- **CNNs Aprimoradas** (Gomez *et al.*, 2021): Aplica redes CNN para o OCR em cingalês, atingindo acurácia superior a 90% no texto geral e 97% na segmentação e identificação de pontuação.

5.2.3 Pré-processamento, Segmentação e Aumento de Dados

Os estudos analisados combinam os modelos profundos com etapas avançadas de tratamento de dados:

- **Pré-processamento e Segmentação** (Gomez *et al.*, 2021): A binarização adaptativa pelo método de Sauvola, aliada a transformações geométricas, algoritmos de projeção vertical e rotulagem de pixels, foi aplicada para separar caracteres sobrepostos e lidar com alinhamentos variáveis.
- **Aumento Sintético de Dados** (Gomez *et al.*, 2021): O uso de Redes Adversárias Generativas (GANs), especificamente DCGAN e CGAN, permitiu gerar amostras sintéticas de alta qualidade para o cingalês (Gomez *et al.*, 2021).
- **Base de Dados Ampla** (Alam et al., 2021): O dataset de grafemas bengali manuscritos, com 411.882 amostras, foi essencial para avaliar modelos em cenários com classes desbalanceadas.

5.3 Discussão dos achados

A análise conjunta dos estudos revela que, embora modelos baseados em Aprendizado Profundo e redes generativas (GANs) tenham apresentado avanços expressivos na classificação de escrita cursiva, persistem desafios críticos na área:

- **Conectividade e Variabilidade Caligráfica:** A sobreposição de grafemas e a variação individual na caligrafia ainda exigem algoritmos de segmentação altamente específicos para cada idioma ou tipo de escrita.
- **Escassez de Datasets Diversificados:** A falta de bases amplas e diversificadas, que contemplem diferentes estilos caligráficos e idiomas, continua sendo um desafio crítico para o avanço dos sistemas HTR. Os estudos selecionados tratam de árabe, bengali e cingalês, não contemplando a escrita cursiva em português, o que reforça a lacuna explorada nesta pesquisa.

Os estudos apontam como perspectivas a integração de segmentação, aumento de dados e classificação em um único pipeline e a ampliação do uso de GANs para idiomas pouco estudados. A partir dessas lacunas, esta dissertação explora, de forma complementar, estratégias alternativas para a coleta e validação colaborativa de dados.

Os resultados deste levantamento também permitem estabelecer uma relação com a escolha das tecnologias e com a concepção dos artefatos desenvolvidos nesta pesquisa. A revisão não teve como objetivo realizar um levantamento comparativo ou um benchmark de ferramentas OCR/HTR, mas identificar estratégias computacionais, limitações e desafios recorrentes no reconhecimento de escrita cursiva. Entre esses desafios, destacam-se a variabilidade caligráfica, a necessidade de pré-processamento e segmentação adequados e, principalmente, a disponibilidade de conjuntos de dados suficientemente diversos e representativos.

Dessa forma, os achados da revisão contribuíram para deslocar o foco da pesquisa de uma avaliação exclusiva de algoritmos de reconhecimento para a investigação de uma possibilidade complementar: a criação de condições para futuras estratégias de obtenção e validação colaborativa de amostras manuscritas. Essa relação fundamentou a concepção dos artefatos App *Manu* e *Sala 360A*, nos quais a atividade de leitura e transcrição de palavras manuscritas é utilizada como contexto para explorar uma abordagem inspirada em crowdsourcing e na lógica do reCAPTCHA.

5.4 Síntese e implicações para a pesquisa

Diante das lacunas identificadas na literatura, sobressai a oportunidade de propor estratégias que concatenem a geração de dados representativos ao engajamento de usuários. Nesse contexto, ambientes virtuais imersivos educacionais desempenham um papel estratégico: ao promoverem atividades em que crianças realizam a escrita ou transcrição de palavras cursivas, esses sistemas articulam-se com a literatura de aprendizagem e posicionam-se como uma alternativa concreta para o enriquecimento colaborativo de bases de dados aplicadas ao HTR.

5.4.1 Posicionamento da abordagem em relação aos trabalhos relacionados

A Tabela 5 compara os trabalhos selecionados com a abordagem proposta nesta dissertação, destacando a escrita tratada, a contribuição principal de cada estudo e sua relação com esta pesquisa.

Tabela 5: Comparação entre os trabalhos relacionados e a abordagem proposta.

Trabalho	**Escrita**	**Contribuição principal**	**Relação com esta dissertação**
Islam *et al.* (2024)	Árabe	CNN + BLSTM + CTC, com WER de 1,09%	Evidencia o desempenho de modelos profundos, que dependem de dados rotulados representativos.
Alam *et al.* (2021)	Bengali	*Dataset* multi-alvo com 411.882 amostras de grafemas	Reforça a importância de bases amplas e diversificadas.
Gomez *et al.* (2021)	Cingalês	CNN e GANs para segmentação, reconhecimento e aumento de dados	Recorre a dados sintéticos para ampliar a variabilidade das amostras.
Esta dissertação	Cursiva (português)	Atividade de alfabetização como contexto para a obtenção e validação colaborativa de amostras (simulada)	Explora uma estratégia complementar de enriquecimento de bases para HTR cursivo.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), com base em (Islam *et al.*, 2024; Alam *et al.*, 2021; Gomez *et al.*, 2021)

Observa-se que os trabalhos relacionados concentram-se em modelos de reconhecimento, pré-processamento e construção de bases para escritas específicas, enquanto a abordagem desta dissertação explora o contexto da alfabetização como mecanismo para futuras estratégias de obtenção e validação colaborativa de amostras manuscritas cursivas

5.4.2 Síntese das Questões de Pesquisa

Os resultados do levantamento da literatura permitem sintetizar as respostas às três Questões de Pesquisa.

- QP1 – Arquiteturas e Modelos: Foram identificadas diferentes estratégias e modelos de Aprendizado Profundo empregados em sistemas OCR/HTR para o HTR cursivo, com avanços no desempenho dos sistemas.
- QP2 – Pré-processamento e Aumento de Dados: Foram identificadas técnicas de pré-processamento, segmentação e aumento de dados, incluindo estratégias de geração de

amostras sintéticas, utilizadas para ampliar a variabilidade das bases e melhorar o desempenho dos modelos.

- QP3 – Lacunas e Desafios: Os estudos analisados evidenciam limitações relacionadas principalmente à disponibilidade, diversidade e representatividade dos conjuntos de dados, indicando a necessidade de estratégias para obtenção e organização de novas amostras de escrita manuscrita.

6 ARTEFATOS DESENVOLVIDOS: APP *MANU* E *SALA 360A*

Esta Seção reúne a apresentação dos dois artefatos computacionais desenvolvidos nesta pesquisa (o App *Manu* e a *Sala 360A*), bem como a descrição da abordagem conceitual comum a ambos. A opção por tratá-los em uma única seção se justifica pela forte relação entre a lógica de concepção compartilhada pelos dois artefatos, detalhada na Subseção 6.1.2, e suas implementações específicas, apresentadas nas Subseções 6.2 e 6.3. Nesta dissertação, a avaliação do App Manu e a da Sala 360A são tratadas como primeiro ciclo e segundo ciclo, respectivamente.

A Subseção 6.1 retoma, de forma sintética, as etapas metodológicas que conduziram à concepção dos artefatos, situando-os no percurso geral da pesquisa. A Subseção 6.1.2 apresenta o fluxo lógico e conceitual que estrutura a interação do participante com ambos os artefatos, organizado em três camadas complementares. Por fim, as Subseções 6.2 e 6.3 detalham, respectivamente, a concepção, o desenvolvimento e a avaliação do App *Manu* e da *Sala 360A*.

6.1 Visão Geral da Abordagem Proposta

Após o estudo exploratório e o levantamento da literatura, foram concebidos dois artefatos computacionais voltados ao contexto da alfabetização, incorporando atividades de leitura e transcrição de palavras manuscritas em letra cursiva. A concepção dos artefatos foi orientada por princípios de crowdsourcing e pela lógica de interação do reCAPTCHA, considerando a possibilidade de utilização futura das contribuições humanas em aplicações relacionadas ao HTR. O crowdsourcing constitui, portanto, um princípio de concepção dos artefatos, enquanto a interação dos professores e educadores com esses artefatos (avaliada em termos de usabilidade, aceitação, experiência de uso e potencial de aplicação) constitui o fenômeno investigado nesta pesquisa.

6.1.1 Síntese das etapas metodológicas da pesquisa

O percurso da pesquisa foi organizado de forma progressiva, articulando os resultados obtidos no estudo exploratório e no levantamento da literatura à concepção, ao desenvolvimento e à avaliação de dois artefatos computacionais. Esse percurso foi organizado em quatro macroetapas complementares, que representam a evolução da investigação desde a fundamentação do problema até a análise da interação dos professores e educadores com os artefatos:

1. **Fundamentação da abordagem:** realização do estudo exploratório e do levantamento da literatura, que contribuíram para a compreensão do problema relacionado ao reconhecimento de textos manuscritos e para a identificação de estratégias computacionais, limitações e possibilidades de interação que subsidiaram a concepção dos artefatos.

2. **Concepção e desenvolvimento do primeiro artefato:** desenvolvimento do protótipo do App *Manu*, concebido como uma experiência interativa e gamificada no contexto da alfabetização inicial. O artefato incorpora uma atividade de leitura e transcrição de palavras manuscritas em letra cursiva e elementos inspirados na lógica do reCAPTCHA, permitindo investigar como professores e educadores percebem e interagem com a proposta em uma interface bidimensional.

3. **Concepção e desenvolvimento do segundo artefato:** desenvolvimento da *Sala 360A* como uma extensão da investigação para um ambiente tridimensional imersivo baseado em tecnologias WebXR. O artefato preserva a atividade de leitura e transcrição de palavras manuscritas em letra cursiva e amplia as possibilidades de interação por meio de recursos próprios de um ambiente imersivo, permitindo investigar a interação dos professores e educadores com uma segunda forma de apresentação da atividade.

4. **Avaliação dos artefatos:** realização de avaliações com professores e educadores da Educação Básica utilizando o App *Manu* e a *Sala 360A*, com o objetivo de investigar sua interação com os artefatos e analisar aspectos relacionados à usabilidade, à aceitação, à experiência de uso e ao potencial de aplicação no contexto educacional. Os dados obtidos foram analisados por meio de procedimentos quantitativos e qualitativos, conforme os instrumentos e procedimentos apresentados na Seção 3.

6.1.2 Fluxo geral da abordagem proposta

A proposta desenvolvida nesta pesquisa está estruturada a partir da interação do participante com os artefatos, organizando a experiência em etapas que envolvem a apresentação de uma

palavra manuscrita cursiva, sua leitura e transcrição e o registro da resposta produzida. O fluxo foi concebido para representar uma atividade educacional relacionada à leitura de palavras em letra cursiva e, simultaneamente, explorar uma forma de interação inspirada em princípios de crowdsourcing e na lógica do reCAPTCHA. Conforme apresentado na Figura 8, as contribuições produzidas pelos participantes são organizadas de forma simulada, representando uma possibilidade de utilização futura desses dados em aplicações relacionadas ao HTR. Assim, o fluxo apresentado não corresponde à implementação de um sistema funcional de coleta e treinamento de modelos de HTR, mas à representação da experiência de interação proporcionada pelos artefatos.

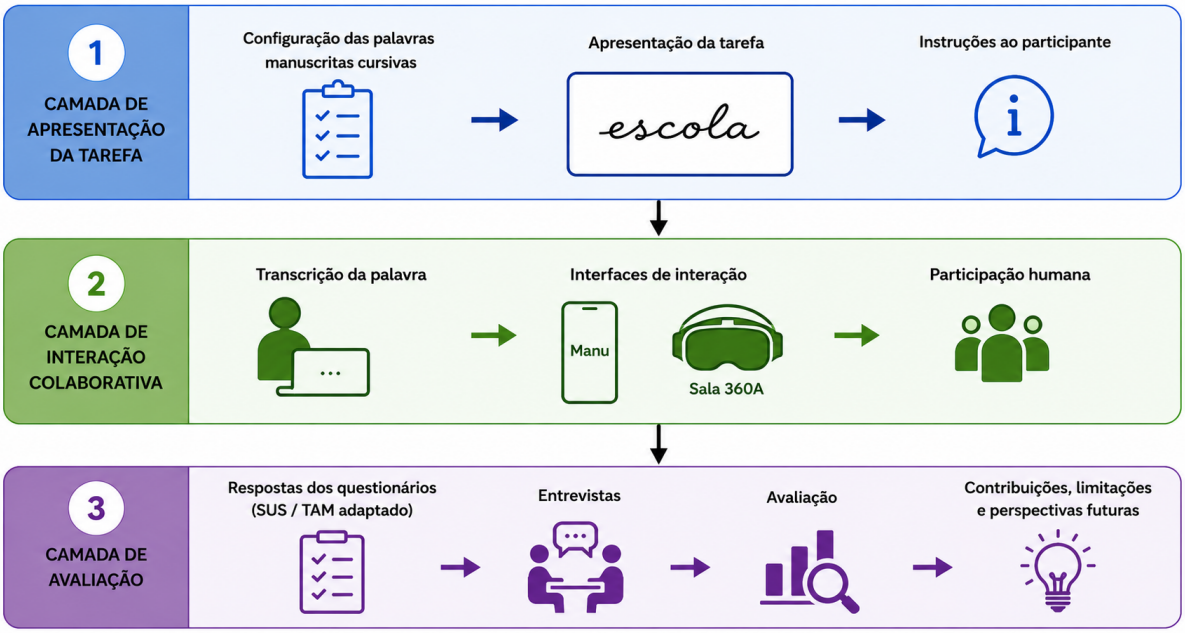


Figura 8: Fluxo lógico da abordagem proposta.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

O fluxo lógico da abordagem organiza-se em três camadas principais:

- **Camada de apresentação da tarefa:** o artefato apresenta ao participante uma imagem contendo uma palavra manuscrita em letra cursiva, cuja leitura e transcrição constituem a atividade proposta. As palavras utilizadas no mecanismo são previamente configuradas de acordo com a atividade investigada e apresentadas em diferentes formas de interação, conforme as características dos artefatos.

- **Camada de interação com o artefato:** o participante realiza a leitura e a transcrição da palavra utilizando a interface disponibilizada pelo App *Manu* ou pela *Sala 360A*. Essa etapa constitui o principal momento de interação entre o participante e o artefato

e corresponde ao fenômeno investigado nesta pesquisa. A interação também incorpora o princípio human-in-the-loop, uma vez que a contribuição humana é utilizada como parte da atividade proposta, mantendo a possibilidade de que essas contribuições sejam aproveitadas futuramente em estratégias de coleta ou validação de dados.

- **Camada de registro e organização das contribuições:** as respostas produzidas durante a interação são registradas e organizadas nos protótipos de forma simulada. Essa etapa representa a possibilidade de que as contribuições dos participantes sejam posteriormente utilizadas em processos de coleta, validação ou formação de bases de dados relacionadas ao HTR. Nesta pesquisa, entretanto, não é implementado um mecanismo de consenso, uma base de dados para treinamento ou um sistema funcional de HTR. A etapa tem caráter representacional e complementa o fluxo de interação investigado nos artefatos.

6.2 App *Manu*

Com o objetivo de materializar o primeiro ciclo de investigação da abordagem proposta, esta seção apresenta o desenvolvimento e a arquitetura do App *Manu*, primeiro artefato computacional desenvolvido na pesquisa. A aplicação foi concebida como um protótipo educacional e lúdico, ambientado no contexto da alfabetização inicial, que utiliza uma atividade de leitura e transcrição de palavras manuscritas em letra cursiva para simular uma interação inspirada na lógica do reCAPTCHA e nos princípios do crowdsourcing. Nesta etapa, a coleta colaborativa e o mecanismo de consenso não foram implementados funcionalmente, sendo representados de forma conceitual e simulada. As seções a seguir descrevem o projeto e o desenvolvimento do protótipo, sua relação com a lógica de inteligência coletiva e os procedimentos adotados para sua avaliação junto a professores e educadores da Educação Básica.

6.2.1 Desenvolvimento do App *Manu*

O aplicativo *Manu* (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026a) foi desenvolvido como o primeiro protótipo da abordagem investigada nesta dissertação, voltado ao apoio de atividades de alfabetização com ênfase na leitura e na transcrição de palavras manuscritas em letra cursiva. A proposta buscou aproximar a prática de reconhecimento da escrita cursiva de uma experiência digital interativa, ao mesmo tempo em que permitiu investigar, de forma simulada, como uma atividade educacional poderia futuramente ser associada à geração colaborativa de dados para sistemas de HTR. Nesta etapa da pesquisa, entretanto, não foi realizada coleta efetiva de dados com crianças nem implementado um mecanismo funcional de formação de base colaborativa.

O aplicativo foi concebido como uma experiência interativa e gamificada destinada ao contexto da alfabetização, na qual a criança visualiza, em uma lousa, uma palavra manuscrita em letra cursiva, interpreta o que está escrito e realiza sua transcrição por meio de um teclado virtual. A atividade combina elementos de leitura, reconhecimento de palavras, interação digital e mecanismos de recompensa, buscando tornar a prática mais envolvente. Para fins desta pesquisa, essa dinâmica foi utilizada como representação do tipo de interação que, em uma implementação futura, poderia contribuir para um processo colaborativo de transcrição e validação de palavras manuscritas cursivas.

A identidade visual do aplicativo foi desenvolvida com uma abordagem direcionada ao público infantil. O personagem principal é a Manu, uma coruja que junto com uma mãozinha cinza, representa o elemento de orientação e interação com a criança conforme exibido na Figura 9. A escolha dessa personagem contribui para a construção de uma identidade visual amigável e lúdica, funcionando como uma representação visual associada ao aplicativo e às atividades propostas.

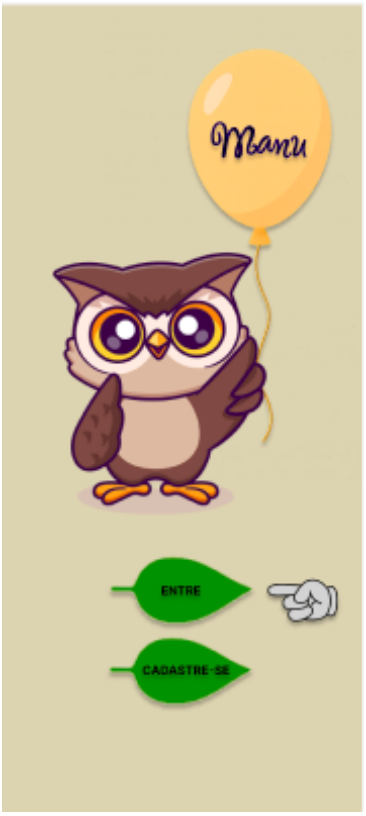


Figura 9: Tela inicial do protótipo do aplicativo *Manu*.
Fonte: Palhanos (2026) (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026a)

O protótipo foi desenvolvido inicialmente em português, considerando o contexto educacional brasileiro, e implementado como um protótipo interativo no Figma. Essa escolha permitiu

explorar a estrutura de navegação, a organização visual das telas e o fluxo de interação antes da implementação funcional do aplicativo.

A primeira etapa da atividade ocorre nas telas seguintes. Após logar no aplicativo, a personagem *Manu* apresenta à criança as instruções iniciais da atividade conforme exibido na Figura 10. Essas instruções buscam reduzir a necessidade de explicações externas e introduzir progressivamente a criança à lógica de funcionamento do aplicativo.



Figura 10: Tela da instrução da atividade.
Fonte: Palhanos (2026) (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026a)

Após a confirmação da instrução inicial, a criança é direcionada para uma tela que apresenta um caminho formado por ovos numerados. O primeiro ovo representa o início da atividade e deve ser selecionado para que a criança avance para o ambiente de leitura e transcrição conforme exibido na Figura 10.

A utilização dos ovos como elementos de progressão foi concebida como uma estratégia de gamificação. Cada ovo representa uma etapa da atividade e permite que a criança visualize sua progressão no aplicativo. Dessa forma, a realização das tarefas de leitura e transcrição é associada a uma estrutura de avanço, contribuindo para a percepção de continuidade e conquista.

Após selecionar o ovo indicado, a criança é conduzida a um ambiente que representa

uma sala de estudos. A atividade central do aplicativo ocorre diante de uma lousa. Nela, é apresentada uma palavra manuscrita em letra cursiva que deve ser lida e transcrita pela criança. Ela, então deve ler a palavra exibida e digitar o que compreendeu utilizando um teclado virtual conforme exibido na Figura 11.

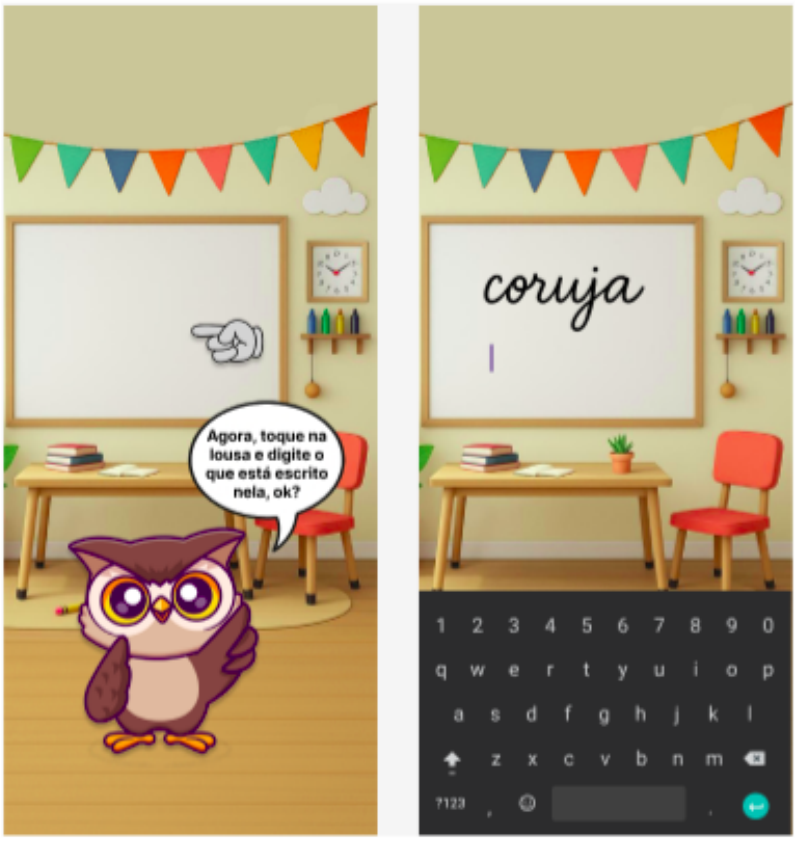


Figura 11: Telas da sala de estudo com a lousa escrita e teclado.

Fonte: Palhanos (2026) (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026a)

Após a digitação da resposta, o sistema apresenta um mecanismo de feedback visual. Quando a transcrição está correta, uma estrela contente é exibida na interface, funcionando como recompensa visual e reforço positivo. Quando a resposta está incorreta, uma estrela triste é apresentada, acompanhada de uma mensagem que incentiva a criança a realizar uma nova tentativa conforme exibido na Figura 12.



Figura 12: Telas de feedback visual.

Fonte: Palhanos (2026) (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026a)

A utilização desses elementos de feedback tem como objetivo evitar que o erro seja apresentado de forma punitiva. Em vez disso, a resposta incorreta é incorporada ao fluxo da atividade como uma oportunidade de nova tentativa.

A gamificação também está presente na estrutura de progressão e pontuação do aplicativo. Após a transcrição correta de uma palavra, a criança conclui a etapa correspondente e pode avançar no caminho representado pelos ovos conforme exibido na Figura 13.

O aplicativo também possui telas relacionadas à pontuação e ao ranking dos participantes. A pontuação permite que a criança acompanhe seu desempenho ao longo da experiência, enquanto o ranking introduz um elemento adicional de progressão e comparação dentro da lógica gamificada conforme exibido na Figura 13.

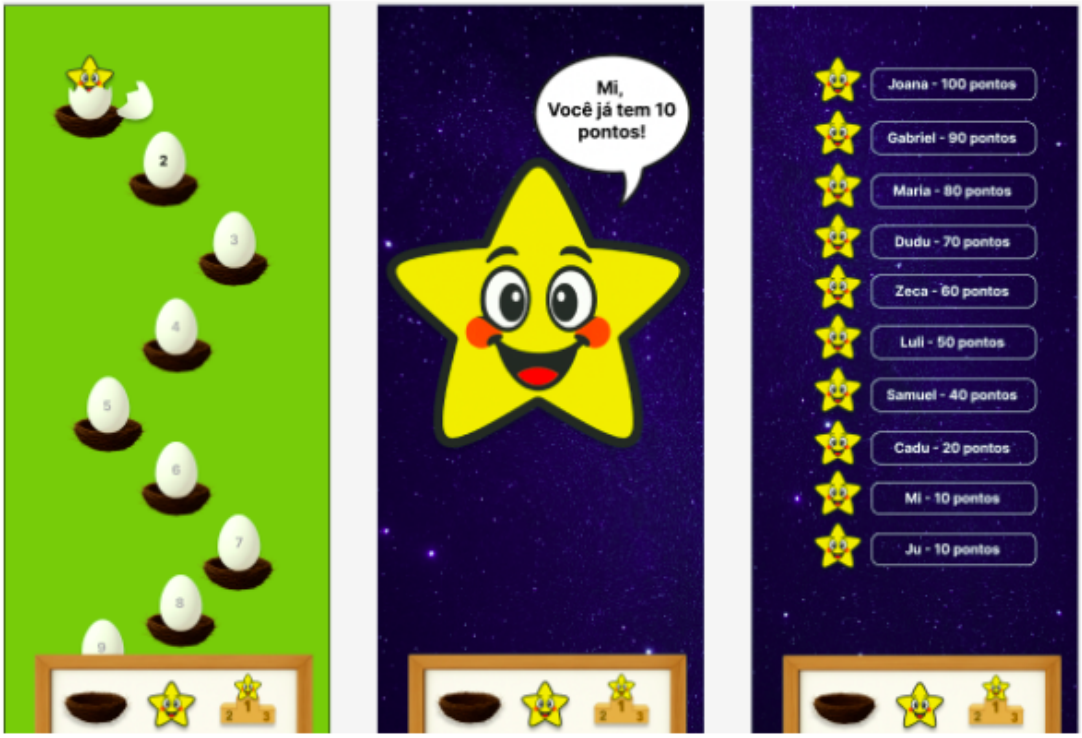


Figura 13: Telas com o progresso, feedback visual e ranking.

Fonte: Palhanos (2026) (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026a)

A combinação entre progressão, pontuação, ranking e feedback visual foi concebida para favorecer a persistência da criança na realização das atividades. Esses elementos procuram transformar a prática de leitura e transcrição em uma experiência contínua e motivadora.

6.2.2 Integração da lógica do reCAPTCHA e da inteligência coletiva

A concepção do aplicativo *Manu* foi inspirada na lógica do reCAPTCHA e no conceito de inteligência coletiva, utilizados como referências para estruturar uma atividade na qual a interação humana pudesse estar associada, conceitualmente, a uma contribuição para um problema computacional relacionado ao reconhecimento de escrita manuscrita. No artefato desenvolvido, esses princípios foram incorporados à atividade de leitura e transcrição de palavras manuscritas em letra cursiva, inserida no contexto da alfabetização.

No contexto do aplicativo, a atividade proposta consiste em visualizar uma palavra manuscrita em letra cursiva e realizar sua transcrição por meio do teclado virtual. A partir dessa interação, considera-se conceitualmente a possibilidade de que respostas produzidas por diferentes usuários sejam posteriormente armazenadas em uma base de dados colaborativa e utilizadas como evidências para apoiar a validação das transcrições. No App *Manu*, entretanto, essa

funcionalidade não foi implementada, permanecendo como parte da concepção da abordagem.

Em uma implementação futura, a abordagem poderá utilizar o consenso entre múltiplas respostas como mecanismo de apoio à validação das transcrições. Quando diferentes usuários fornecerem a mesma transcrição para uma determinada palavra manuscrita, a concordância entre as respostas poderá ser utilizada como evidência para estabelecer uma hipótese de validação. Neste trabalho, essa dinâmica foi considerada em nível conceitual, não tendo sido implementado um mecanismo funcional de consenso.

Cabe ressaltar que, na versão do protótipo avaliada, a base de dados colaborativa e o mecanismo funcional de consenso não foram implementados. Dessa forma, a relação com a lógica do reCAPTCHA foi investigada em nível conceitual e arquitetural, por meio da representação da tarefa de transcrição e de sua possível utilização como contribuição humana em um processo colaborativo. Essa dinâmica constituiu a base para o segundo ciclo da investigação, no qual os princípios explorados no App *Manu* foram posteriormente estendidos e simulados no ambiente imersivo *Sala 360A*.

Assim, o aplicativo *Manu* estabelece uma conexão conceitual entre alfabetização, gamificação e inteligência coletiva, ao representar uma atividade na qual a interação humana pode, futuramente, assumir também uma função de contribuição para sistemas de HTR. Nesta pesquisa, os dados colaborativos não foram efetivamente coletados ou utilizados para treinamento de modelos. O protótipo constitui, portanto, uma primeira simulação da dinâmica de transcrição colaborativa, cujos princípios foram posteriormente retomados e ampliados na *Sala 360A*.

6.2.3 Avaliação do App *Manu*

A avaliação do aplicativo *Manu* foi realizada como uma etapa preliminar de investigação da proposta antes de qualquer estudo direto com crianças. Considerando os requisitos éticos e os procedimentos específicos necessários para pesquisas envolvendo o público infantil, optou-se, nesta etapa, pela avaliação do protótipo por professores e educadores da Educação Básica com experiência no contexto da alfabetização. O objetivo foi obter evidências iniciais sobre a usabilidade, a interação, a adequação percebida da proposta ao contexto educacional e os aspectos que poderiam ser aprimorados antes de futuras investigações com o público-alvo.

A avaliação teve como objetivo investigar a usabilidade percebida do protótipo, a percepção dos professores e educadores sobre sua adequação ao contexto da alfabetização e os aspectos técnicos e de interação que poderiam ser aprimorados. A investigação não buscou avaliar ganhos de aprendizagem ou a eficácia pedagógica do aplicativo com crianças, mas reunir

evidências preliminares sobre a viabilidade da proposta e subsidiar o desenvolvimento das etapas posteriores da pesquisa.

Foi adotada uma abordagem de métodos mistos, combinando dados qualitativos e quantitativos. Os dados qualitativos foram obtidos por meio de uma entrevista individual semiestruturada e de questões abertas do questionário, enquanto os dados quantitativos foram obtidos por meio de um questionário com afirmações avaliadas em escala Likert e pelo cálculo do *System Usability Scale* (SUS) (Brooke, 1996).

Os resultados dessa avaliação são apresentados na seção 7.2.

6.2.3.1 Participantes

Cinco professores e educadores participaram da avaliação do App *Manu* ($N = 5$). A escolha desse grupo esteve relacionada à necessidade de obter uma avaliação preliminar do protótipo sob a perspectiva de profissionais familiarizados com o contexto da alfabetização. Esses participantes puderam analisar aspectos de usabilidade, interação e adequação percebida da proposta ao público infantil, contribuindo para a identificação de potencialidades e aspectos a serem aprimorados antes de futuras investigações diretamente com crianças. Todas as participantes eram mulheres e atuavam como professoras. Essa informação foi obtida verbalmente, não tendo sido registrada por meio de instrumento específico de caracterização; portanto, não foram coletados dados sociodemográficos ou de experiência prévia com tecnologia digital, diferentemente da avaliação da *Sala 360A* (Seção 6.3.2.1).

A utilização de cinco participantes também foi considerada compatível com uma avaliação preliminar de usabilidade, seguindo a abordagem de Nielsen (Nielsen, 1993), segundo a qual um pequeno número de usuários pode ser suficiente para identificar uma parcela significativa dos problemas de usabilidade de uma interface.

A avaliação com adultos constituiu uma etapa preliminar da investigação, anterior a qualquer eventual estudo diretamente com crianças. Dessa forma, buscou-se identificar problemas de interação, usabilidade e aspectos relacionados à adequação percebida da proposta, fornecendo subsídios para o aprimoramento do protótipo e para o planejamento de futuras pesquisas com o público infantil.

6.2.3.2 Equipamentos

Para a avaliação, utilizou-se o protótipo interativo do App *Manu* desenvolvido no Figma, acessado por meio de smartphone via link do protótipo no navegador. Por se tratar de um

protótipo navegável sem lógica funcional real, a interação limitou-se aos fluxos previamente definidos nas telas.

6.2.3.3 Instrumentos de avaliação

Foram utilizados dois instrumentos principais: um questionário estruturado e uma entrevista individual semiestruturada.

O questionário estruturado, que se encontra no Apêndice B, continha duas questões abertas e dez afirmações fechadas avaliadas em escala Likert de cinco pontos e foi aplicado a cinco professores e educadores.

A escolha do SUS (Brooke, 1996) justifica-se por ser um instrumento padronizado, de aplicação breve e amplamente utilizado na avaliação de usabilidade de interfaces, adequado à avaliação preliminar de um protótipo navegável com um pequeno número de participantes.

As questões abertas buscavam identificar os pontos positivos observados no aplicativo e os aspectos negativos ou dificuldades encontrados durante a experiência.

As afirmações fechadas avaliavam aspectos como facilidade de uso, complexidade percebida, adequação pedagógica, integração das funcionalidades e confiança na utilização do aplicativo por crianças.

Após a etapa de aplicação do questionário, realizou-se a entrevista individual, cujo roteiro integra o Apêndice C. Composta por doze perguntas organizadas em blocos temáticos, a entrevista foi conduzida individualmente com um dos cinco professores, de forma presencial, após o preenchimento do questionário, com duração aproximada de 7 minutos (segundo a transcrição). O critério de escolha do entrevistado foi a disponibilidade. Foi gravada em áudio, com aceite verbal registrado no início da gravação (Seção 3.3.2), e transcrita automaticamente com a ferramenta Google Pinpoint, sem revisão posterior (Apêndice C). A pesquisadora seguiu o roteiro e reformulou ou repetiu perguntas quando necessário. Os temas abordados incluíram a experiência geral de uso, a usabilidade e a navegação, a adequação pedagógica, o potencial da aplicação para o desenvolvimento de habilidades de alfabetização e sugestões de melhoria, complementando e aprofundando os dados obtidos pelo questionário estruturado.

A entrevista permitiu investigar aspectos que não poderiam ser plenamente capturados por meio de respostas numéricas, como a percepção dos professores e educadores sobre a adequação dos estímulos visuais, a clareza dos comandos e a possibilidade de utilização do aplicativo em atividades relacionadas à alfabetização.

6.2.3.4 Etapas do processo de avaliação

A interação com o protótipo foi conduzida individualmente e de forma remota, com duração aproximada de 5 minutos por sessão (sem contar o questionário e a entrevista); a entrevista, com uma das participantes, ocorreu de forma presencial. O procedimento seguiu as seguintes etapas:

1. **Apresentação e consentimento:** os participantes foram informados sobre os objetivos da pesquisa e aceitaram participar voluntariamente.
2. **Interação com o protótipo:** acessaram o link do protótipo do app, leram as instruções da coruja Manu, leram a palavra cursiva na lousa, realizaram a transcrição da palavra, observaram o feedback, realizaram a transcrição da nova palavra (se acertaram a anterior, caso não, realizaram novamente a transcrição), consultaram a pontuação e a respectiva posição no ranking.
3. **Coleta de percepções:** ao final, os participantes responderam ao questionário SUS e às duas questões abertas no Google Forms (Apêndice B).
4. **Entrevista:** após a etapa de aplicação do questionário, realizou-se a entrevista individual semiestruturada com um dos professores (Apêndice C).

6.3 *Sala 360A*

Com o intuito de expandir a validação conceitual da abordagem proposta para ambientes virtuais imersivos, esta seção apresenta a concepção, o desenvolvimento e a avaliação da *Sala 360A*. Desenvolvida com o framework A-Frame, a *Sala 360A* constitui o segundo artefato tecnológico deste estudo, transportando a lógica de transcrição colaborativa para um espaço tridimensional interativo em 360°. As seções a seguir detalham o processo de modelagem e implementação do ambiente imersivo, os recursos de interação espacial e engajamento disponibilizados, bem como os procedimentos adotados para a avaliação da ferramenta junto aos educadores da Educação Básica.

6.3.1 Desenvolvimento da *Sala 360A*

A *Sala 360A* (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026b) foi desenvolvida utilizando o framework A-Frame, uma tecnologia open-source baseada em JavaScript que permite a construção de

ambientes de RV diretamente em navegadores compatíveis. A escolha dessa ferramenta deve-se a fatores como acessibilidade, baixo custo de implementação e facilidade de integração com recursos multimídia.

Diferentemente de engines mais complexas, como Unity ou Unreal, o A-Frame possibilita a criação de experiências imersivas por meio de uma sintaxe baseada em HTML, favorecendo tanto a prototipagem rápida quanto a manutenção e a evolução do ambiente virtual.

Para viabilizar a experiência imersiva, foram utilizados dispositivos de RV acessíveis e compatíveis com navegadores WebXR. O ambiente foi testado utilizando um smartphone com sistema operacional Android (Moto G7 Power, Motorola) acoplado a um óculos de RV do tipo VR Box. Essa configuração permitiu a visualização do ambiente em 360° e a interação baseada no movimento da cabeça do usuário (gaze interaction).

A Figura 14 apresenta a configuração experimental utilizada na avaliação da *Sala 360A*, composta pelo smartphone acoplado aos óculos de RV. Essa configuração foi escolhida por seu baixo custo, facilidade de replicação e compatibilidade com a proposta de uso individual da *Sala 360A*, além de representar uma solução potencialmente escalável para contextos educacionais que frequentemente enfrentam limitações de infraestrutura tecnológica.



Figura 14: Smartphone acoplado aos óculos VR.

Fonte: Acervo da autora (2026).

Como evolução direta do aplicativo móvel *Manu*, a *Sala 360A* estende a dinâmica de

transcrição colaborativa de palavras manuscritas cursivas (inspirada no reCAPTCHA) para um ambiente virtual 360° baseado em WebXR. Nessa segunda implementação, a tarefa deixa de ocorrer na tela de um dispositivo móvel e passa a ser realizada por meio da projeção da palavra em uma lousa interativa tridimensional, mantendo a estrutura de entrada via teclado virtual e reforço visual aos participantes. Embora concebida para simular a geração de dados destinados a futuros modelos de HTR, esta etapa concentrou-se na investigação preliminar do ambiente sob a perspectiva da usabilidade, clareza da interação, conforto e potencial pedagógico percebido por professores e educadores da Educação Básica.

O design do ambiente foi planejado para reproduzir um espaço infantil acolhedor, aproximando-se da estética de uma sala de aula combinada com uma brinquedoteca. As paredes foram projetadas em tom creme, acompanhadas de rodapés brancos, transmitindo clareza e neutralidade visual, enquanto o piso de madeira corrida em posição horizontal confere a sensação de aconchego e familiaridade. O teto, pintado em azul, foi pensado para simular o céu e ampliar a percepção de espaço, criando um ambiente mais lúdico e atrativo para as crianças conforme exibido na Figura 15.



Figura 15: Vista da sala ao entrar.
Fonte: Palhanos (2026) (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026b)

Na parede principal encontra-se a lousa interativa, que funciona como o centro pedagógico da sala, onde as palavras manuscritas cursivas são exibidas para as atividades de transcrição. Acima dela, foram posicionados dois cordões de bandeirolas coloridas com as letras do alfabeto, presos a nuvens. Esse recurso cumpre dupla função: de um lado, reforça o contato visual com as letras do alfabeto; de outro, acrescenta um elemento decorativo festivo que remete ao universo infantil. À esquerda da lousa, foi adicionado um relógio de parede, tanto para reforçar a ambientação realista quanto para introduzir um elemento familiar às salas de aula tradicionais.

Para fins de documentação do artefato, diferentes perspectivas e elementos visuais da *Sala 360A* são apresentados no Apêndice D. A opção por concentrar esses registros visuais no apêndice permite preservar o fluxo textual da seção, sem reduzir a documentação do processo de desenvolvimento do artefato.

A mecânica de transcrição e validação conceituada no aplicativo *Manu* foi adaptada na *Sala 360A* para o fluxo de coleta simulada de dados em WebXR. Nesta etapa, o ambiente imersivo atua como a materialização da proposta original do aplicativo, levando a dinâmica de interação para o espaço tridimensional por meio do uso de óculos de RV.

A atividade é executada na lousa interativa: o usuário visualiza a palavra manuscrita cursiva *ninho* projetada nela conforme exibido na Figura 16, realiza a transcrição utilizando o teclado e confirma a entrada. O sistema efetua a comparação com a palavra-alvo e fornece feedback visual imediato (estrela contente para a resposta correta (Figura 17) ou estrela triste para resposta incorreta (Figura 18), mantendo a dinâmica de engajamento na tarefa, assim como ocorria no aplicativo.



Figura 16: Lousa, palavra ninho e teclado.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.



Figura 17: Lousa com estrela contente.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.



Figura 18: Lousa com estrela triste.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

A *Sala 360A* foi concebida como uma evolução do aplicativo *Manu*, transpondo os princípios de coleta colaborativa baseados na lógica do reCAPTCHA para um ambiente imersivo. Enquanto o aplicativo operava em uma interface bidimensional, a *Sala 360A* amplia essa proposta ao incorporar elementos de RV e interatividade espacial em WebXR. Essa evolução teve como objetivo principal avaliar a viabilidade técnica e a usabilidade de uma arquitetura de entrada em RV de baixo custo, investigando como a transição da interface 2D para a imersiva afeta a clareza da tarefa e a percepção de educadores sobre a proposta.

Em síntese, essa etapa de desenvolvimento não apenas materializa a proposta do aplicativo *Manu* em ambiente imersivo, mas também consolida a arquitetura como um campo de ensaio viável. Dessa forma, fundamentam-se os caminhos para pesquisas futuras que contemplem a coleta real de dados para o treinamento de modelos de HTR e a condução de avaliações diretamente com o público infantil, em estrita observância aos procedimentos éticos necessários.

6.3.2 Avaliação da *Sala 360A*

A avaliação da *Sala 360A* foi conduzida por meio de uma abordagem exploratória e formativa, orientada à compreensão das percepções de educadores sobre a usabilidade, os mecanismos de interação, o conforto e o potencial pedagógico do ambiente imersivo.

A avaliação foi realizada antes de uma eventual investigação direta com crianças. Essa escolha permitiu obter informações preliminares sobre a clareza da interação e a adequação pedagógica do ambiente a partir da experiência de profissionais envolvidos com atividades de alfabetização. A pesquisa adotou uma abordagem de métodos mistos, combinando dados quantitativos obtidos por meio de itens em escala Likert com dados qualitativos provenientes de respostas abertas e entrevistas.

Os resultados dessa avaliação são apresentados na seção 7.3.

6.3.2.1 Participantes

Ao todo, vinte educadores participaram da avaliação da *Sala 360A* ($N = 20$).Os participantes estavam envolvidos com atividades relacionadas ao ensino e à alfabetização e apresentavam diferentes níveis de experiência prévia com tecnologia digital (8 básica, 9 intermediária e 3 avançada) e com tecnologias de RV (5 nunca haviam usado, 13 haviam usado poucas vezes e 2 usavam com frequência).

A participação de professores e educadores foi escolhida como uma etapa formativa anterior à realização de avaliações diretamente com crianças. Os participantes forneceram consentimento informado e os dados foram coletados de forma anônima. O número de participantes foi considerado adequado ao caráter exploratório e formativo da investigação, buscando identificar tendências de percepção e possíveis problemas de usabilidade para orientar o aprimoramento do protótipo.

6.3.2.2 Equipamentos

Para a realização das sessões de avaliação, utilizou-se a configuração experimental descrita na seção anterior: um smartphone Android acoplado a um dispositivo de RV de baixo custo do tipo VR Box. A navegação ocorreu diretamente via navegador web compatível com WebXR, utilizando a interação baseada na fixação do olhar (*gaze-based interaction*), sem a necessidade de controles externos.

6.3.2.3 Instrumentos de avaliação

Foram utilizados dois instrumentos principais: um questionário estruturado e uma entrevista individual semiestruturada.

Nesta etapa, optou-se por um questionário baseado no TAM (Davis, 1989), por permitir investigar, além da usabilidade, a utilidade e a aceitação percebidas de um artefato funcional e imersivo, com amostra maior de participantes. A diferença entre os instrumentos reflete o amadurecimento do artefato e da investigação entre os dois ciclos.

O questionário estruturado, que se encontra no Apêndice E, continha duas questões de perfil, cinco abertas e dez afirmações fechadas avaliadas em escala Likert de cinco pontos baseadas no TAM, e foi aplicado a vinte professores e educadores. As respostas às perguntas de perfil e às questões abertas encontram-se no Apêndice H.

As perguntas de perfil, de múltipla escolha, tratavam da experiência prévia dos participantes com tecnologia digital e com realidade virtual. As questões abertas buscavam identificar os pontos positivos observados na *Sala 360A* e os aspectos negativos ou dificuldades encontrados durante a experiência imersiva.

As afirmações fechadas avaliavam aspectos como a facilidade de uso percebida, a utilidade pedagógica, a intuitividade da navegação e a naturalidade da interação por olhar.

Após a etapa de aplicação do questionário, realizou-se uma entrevista individual semiestruturada, cuja transcrição integra o Apêndice F. A entrevista foi conduzida com um dos vinte professores participantes (critério de escolha do entrevistado foi a disponibilidade no momento), individualmente e de forma presencial, após o preenchimento do questionário. O entrevistado foi avisado antes de começar que a entrevista seria gravada e ele consentiu verbalmente. Ela teve duração aproximada de 13 minutos e foi gravada em áudio, com aceite verbal registrado no início da gravação (Seção 3.3.2), e transcrita automaticamente com a ferramenta Google Pinpoint, sem revisão posterior. A pesquisadora seguiu um roteiro de vinte e duas pergun-

tas abertas, organizadas em sete blocos temáticos, e reformulou ou repetiu perguntas quando necessário. Os temas abordados incluíram usabilidade, conforto visual, adequação da lousa e do teclado virtual, potencial pedagógico para o desenvolvimento da memória ortográfica de palavras cursivas e sugestões de melhoria, complementando e aprofundando os dados obtidos pelo questionário estruturado.

A entrevista permitiu investigar aspectos que não poderiam ser plenamente capturados por meio de respostas numéricas, como as nuances da experiência em ambiente 3D, a percepção de imersão e o impacto do uso de RV em contextos reais de sala de aula.

6.3.2.4 Etapas do processo de avaliação

A avaliação foi conduzida individualmente com cada um dos 20 participantes, durando de 10 a 15 minutos por sessão. O procedimento seguiu as seguintes etapas:

1. **Preparação do Dispositivo:** A pesquisadora acessou o endereço da *Sala 360A* no navegador Google Chrome do smartphone e ativou o modo de visualização em RV no canto inferior da tela (Figura 19), dividindo o conteúdo para visão binocular (Figura 20).

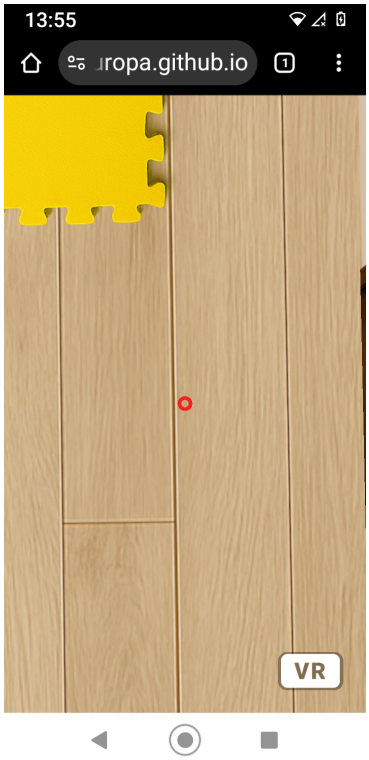


Figura 19: Tela do smartphone no modo normal.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

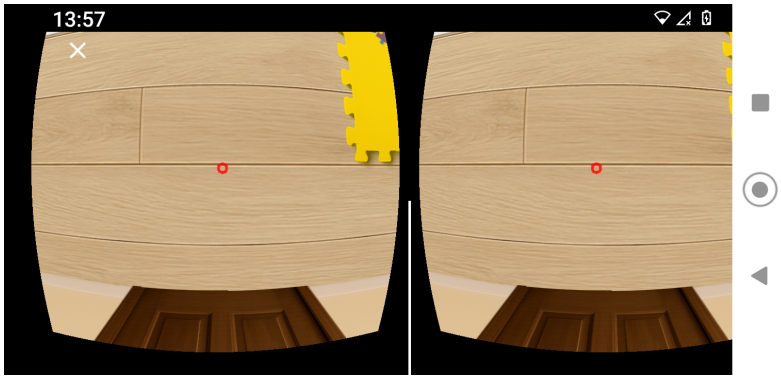


Figura 20: Modo de visualização em RV ativado.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

2. **Ajuste e Calibração:** O smartphone foi acoplado aos óculos VR Box e entregue ao participante, que ajustou o foco das lentes até obter nitidez do anel vermelho central (gaze), responsável por substituir o cursor do mouse (Figura 21).



Figura 21: Cursor central (gaze) utilizado para seleção no ambiente.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

3. **Exploração e Tarefa Pedagógica:** Sem treinamento prévio e somente como uma breve explicação do que deveria fazer simultaneamente ao entrar na sala, o participante explorou as áreas do ambiente 3D. Para se deslocar horizontalmente, fixava o olhar por aproximadamente dois segundos sobre as pegadas conforme exibido na Figura 22 no piso e verticalmente, fazia o mesmo com a marca da mão direita conforme exibido na Figura 23 na parede. Diante da lousa interativa, realizou a atividade de transcrição da palavra *ninho* em letra cursiva via teclado virtual, recebendo os feedbacks visuais do sistema.



Figura 22: Par de pegadas.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.



Figura 23: Mão direita.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

4. **Coleta de Percepções:** Ao final da imersão, o participante removeu o dispositivo e respondeu ao questionário TAM. Em seguida, conduziu-se a entrevista individual semiestruturada com o professor participante para o aprofundamento das percepções qualitativas.

7 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO

Esta seção apresenta e analisa os dados empíricos obtidos durante o processo de avaliação dos artefatos desenvolvidos, conduzido junto a professores e educadores da Educação Básica. O objetivo desta etapa foi investigar a percepção dos professores e educadores em relação à interação com os artefatos desenvolvidos, considerando aspectos relacionados à usabilidade, à usabilidade percebida e ao engajamento proporcionados pelas interfaces bidimensional e tridimensional imersiva. As seções a seguir detalham os achados quantitativos e qualitativos resultantes da aplicação do App *Manu* e da *Sala 360A*, culminando em uma análise integrada que consolida as evidências empíricas obtidas a partir da interação dos participantes com os artefatos desenvolvidos e das percepções manifestadas sobre seu uso no contexto educacional simulado.

7.1 Considerações iniciais

O App *Manu* e a *Sala 360A*, artefatos desenvolvidos como parte da abordagem proposta nesta dissertação (Seção 6), foram utilizados para investigar a percepção e a interação de professores e educadores da Educação Básica com ferramentas digitais de apoio ao HTR cursivo. Conforme descrito na Seção 3, a pesquisa foi conduzida de forma incremental, partindo de estudos exploratórios e evoluindo para o desenvolvimento desses artefatos, empregados para implementar, simular e investigar diferentes aspectos dessa interação. Os resultados apresentados a seguir não têm como finalidade validar definitivamente a proposta, mas reunir evidências sobre a percepção, a usabilidade, a aceitação e o potencial pedagógico dessas ferramentas, contribuindo para analisar sua viabilidade técnica, seu potencial de aplicação no contexto da alfabetização e suas contribuições para futuras pesquisas em HTR cursivo.

Os resultados são provenientes de dois ciclos complementares, conduzidos em sequência. O primeiro ciclo refere-se ao protótipo do App *Manu*, desenvolvido para dispositivos móveis com o objetivo de investigar uma abordagem baseada na leitura e transcrição de palavras manuscritas em letra cursiva, incorporando princípios inspirados na lógica do reCAPTCHA

para simular um mecanismo de crowdsourcing. A avaliação desse protótipo permitiu analisar aspectos relacionados à usabilidade da solução, bem como identificar evidências iniciais sobre a viabilidade da proposta.

O segundo ciclo corresponde à evolução dessa investigação para um ambiente virtual imersivo em realidade 360°, denominado *Sala 360A*. Ambos os ciclos seguem a mesma organização: participantes, equipamentos, instrumentos, procedimento (Seção 6) e resultados quantitativos, qualitativos e síntese (Seção 7). Mantendo os princípios metodológicos do primeiro ciclo (avaliação formativa com professores e educadores antes de qualquer estudo com crianças, abordagem de métodos mistos e simulação da lógica inspirada no reCAPTCHA, sem coleta real de dados), este ciclo buscou ampliar as possibilidades de interação por meio de uma representação tridimensional do ambiente de aprendizagem. Os resultados obtidos permitiram analisar aspectos relacionados à aceitação da tecnologia, ao potencial pedagógico da abordagem e às possibilidades de sua aplicação em cenários futuros de coleta colaborativa de dados.

Embora cada artefato tenha sido avaliado de forma independente, ambos constituem etapas sucessivas de uma mesma investigação científica. Dessa forma, os resultados são apresentados separadamente para preservar as características específicas de cada estudo, sendo posteriormente discutidos de forma integrada, buscando identificar convergências, limitações e contribuições para a consolidação da abordagem proposta.

A organização desta seção reflete essa sequência. Inicialmente, são apresentados os resultados obtidos com a avaliação do protótipo do App *Manu*. Em seguida, são discutidos os resultados da avaliação da *Sala 360A*. Por fim, realiza-se uma análise integrada das evidências produzidas pelas duas investigações, destacando suas implicações para a abordagem baseada em crowdsourcing proposta nesta dissertação e para futuras pesquisas voltadas ao enriquecimento de bases de dados destinadas ao reconhecimento automático de escrita manuscrita cursiva.

7.2 Resultados do App *Manu*

O primeiro conjunto de resultados preliminares desta pesquisa foi obtido por meio da avaliação do protótipo do App *Manu*. Parte desses resultados foi publicada no artigo apresentado na conferência EDULEARN 2026 (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026a), sendo aqui reorganizada e discutida no contexto mais amplo desta dissertação. Enquanto o artigo teve como foco principal a apresentação e a avaliação do protótipo, nesta seção os resultados são analisados como evidências que subsidiam a investigação da abordagem baseada em crowdsourcing aplicado ao contexto da alfabetização para o enriquecimento de bases de dados destinadas ao HTR cursivo.

Conforme apresentado na Seção 3, o App *Manu* constituiu a primeira implementação da abordagem proposta nesta pesquisa. Sua avaliação teve como finalidade produzir evidências iniciais acerca da viabilidade da abordagem, considerando aspectos relacionados à usabilidade, à percepção pedagógica da solução e ao potencial de integração entre atividades de alfabetização e estratégias inspiradas na lógica do crowdsourcing. Para isso, o protótipo foi avaliado por cinco professores e educadores alfabetizadores, que testaram o aplicativo e, posteriormente, responderam a um questionário composto por afirmações em escala Likert e um deles, participou de uma entrevista individual semiestruturada.

O perfil das cinco participantes está descrito na Seção 6.2.3.1.

Os resultados obtidos são apresentados em três etapas. Inicialmente, são discutidos os resultados quantitativos obtidos por meio do questionário aplicado aos participantes. Em seguida, são analisadas as evidências qualitativas provenientes dos resultados das perguntas abertas feitas no mesmo questionário e a entrevista realizada com um dos professores e educadores. Por fim, é apresentada uma síntese das principais contribuições dessa etapa da pesquisa para a evolução da abordagem investigada nesta dissertação.

A análise dos resultados qualitativos, baseada nas respostas abertas do questionário (transcritas integralmente no Apêndice G) e na entrevista realizada com um dos participantes, indicou uma percepção predominantemente positiva sobre o protótipo, destacando a atratividade da interface como ilustra o relato do Participante 4, para quem "[o aplicativo] tem um bom layout e é intuitivo", e o potencial pedagógico da gamificação, mencionado pelo Participante 1: "a escrita baseada em um modelo e a gameficação" foram apontadas como pontos positivos. Por outro lado, foram identificadas falhas de navegação decorrentes da prototipagem no Figma, exemplificadas pelo relato do Participante 5, que descreveu que "[o sistema] apresenta a resposta do desafio apenas clicando no teclado" e que "o sistema não valida a letra pressionada antes de dar a resposta, o que faz o app perder o objetivo"; problemas de legibilidade em telas pequenas, relatados pelo Participante 1 ("a tela, dependendo da tela do smartphone não se vê a barra embaixo"); e a revelação prematura de respostas, apontada pelo Participante 2: "ao clicar na letra [...] o app já me dava uma resposta [...] e funcionou apenas até o número 3". Na entrevista, a docente entrevistada relatou que "não foi difícil entender os comandos e o que eu tinha que fazer a partir das orientações que apareceram"e avaliou os estímulos e recompensas como adequados, pois "eles se sentem muito estimulados quando o jogo ou o aplicativo oferece uma recompensa [. . .] para que eles concluam a tarefa"(Entrevistada, App *Manu*; Apêndice C).

A Tabela 6 sintetiza os principais achados qualitativos, e as respostas completas de cada participante estão reunidas na Tabela 12 do Apêndice G.

Tabela 6: Síntese dos pontos fortes e aspectos a aprimorar na avaliação do App *Manu*.

Pontos Fortes	**Aspectos a Aprimorar**
Interface intuitiva e de fácil utilização	Correção de falhas que interrompem o fluxo das atividades
Estímulos visuais adequados ao público infantil	Melhoria da legibilidade em telas de smartphones
Nível de dificuldade adequado para crianças	Garantia de consistência na apresentação das letras
Potencial para trabalhar habilidades de alfabetização	Ajuste no feedback que revela respostas prematuramente
Avaliação pedagógica e engajamento positivos	—

Fonte: Elaborada pela autora, com base em Palhanos (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026a)

Os dados quantitativos obtidos pelo questionário corroboram essa percepção positiva. A Tabela 7 apresenta as médias das respostas para cada uma das dez afirmações avaliadas pelos docentes.

Tabela 7: Resultados do questionário de avaliação do App *Manu*.

Nº	**Afirmação**	**Média**
1	Acho que uma criança usaria este aplicativo frequentemente por diversão.	4,0
2	Achei o aplicativo desnecessariamente complicado para uma criança usar.	2,4
3	Achei o aplicativo fácil para uma criança usar para praticar a escrita pelo smartphone.	3,8
4	A criança precisaria da ajuda de um professor para usar este aplicativo.	2,4
5	As funcionalidades do aplicativo estão bem integradas e são fáceis de acessar rapidamente.	4,2
6	Achei que houve muita inconsistência na interface do aplicativo para uma criança.	1,8
7	Imagino que a maioria das crianças aprenderia a usar este aplicativo rapidamente.	4,4
8	Achei o aplicativo muito difícil de usar sem explicação prévia para uma criança.	1,4
9	Acho que uma criança se sentiria confiante ao usar o aplicativo para treinar a escrita no smartphone.	4,0
10	Acho que uma criança precisaria aprender muitas coisas antes de usar o aplicativo efetivamente.	2,8

Fonte: Elaborada pela autora, com base em Palhanos (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026a)

A consolidação da métrica padronizada resultou em um score SUS de 74,0 para o App *Manu*. Esse valor situa o protótipo acima do limiar de referência habitual de 68,0 pontos, sugerindo usabilidade aceitável do sistema e viabilidade da mecânica de entrada 2D antes de sua expansão para a *Sala 360A*. Ressalva-se, contudo, que, dada a reduzida dimensão amostral ($N = 5$), esse resultado deve ser interpretado como indicativo preliminar, e não como evidência estatisticamente conclusiva.

7.2.1 Síntese dos resultados obtidos com o App *Manu*

Os resultados apresentados nas subseções anteriores permitem sintetizar as principais evidências produzidas pela avaliação do protótipo do App *Manu*. Sob a perspectiva da usabilidade, o protótipo obteve avaliação favorável das participantes, evidenciada tanto pelas respostas ao questionário quanto pelo score SUS de 74 pontos, valor superior ao limiar de aceitabilidade geralmente adotado para esse instrumento. Esses resultados indicam que a interface e o fluxo de interação do aplicativo foram considerados adequados para a realização das atividades propostas.

Do ponto de vista pedagógico, as participantes reconheceram potencial para utilização do aplicativo como recurso complementar às práticas de alfabetização desenvolvidas em sala de aula. Os relatos qualitativos destacaram principalmente a simplicidade da interface (para o Participante 3, um "aplicativo explicativo, atraente e colorido"), a presença de elementos lúdicos e a possibilidade de estimular o reconhecimento e a transcrição de palavras manuscritas em letra cursiva, sugerindo que a proposta pode contribuir para tornar as atividades de leitura e escrita mais envolventes para crianças em fase de alfabetização.

Além dos aspectos relacionados à usabilidade e ao potencial pedagógico, esta etapa forneceu evidências sobre a percepção das participantes em relação à interação com o artefato e às possibilidades de utilização da abordagem proposta no contexto educacional. Embora a formação colaborativa da base de dados tenha sido apenas simulada no protótipo, a experiência de interação com o artefato indicou que a integração entre atividades educacionais e mecanismos inspirados na lógica do reCAPTCHA constitui uma possibilidade a ser explorada em futuras implementações voltadas ao enriquecimento de bases de dados destinadas ao HTR cursivo.

Ao mesmo tempo, a avaliação permitiu identificar limitações importantes da primeira implementação da proposta. As observações das participantes evidenciaram oportunidades de aprimoramento relacionadas principalmente à navegação, à organização de determinados elementos da interface e ao nível de interação proporcionado pelo aplicativo. Essas limitações não inviabilizaram a utilização do artefato no contexto investigado, mas indicaram a necessidade de explorar formas de interação mais ricas e envolventes.

Dessa forma, os resultados obtidos com o App *Manu* constituíram a primeira evidência empírica da presente pesquisa sobre a interação dos participantes com o artefato e serviram como base para a evolução das ferramentas desenvolvidas. As constatações produzidas nessa etapa motivaram o desenvolvimento da fase seguinte da investigação, apresentada na Seção 6, na qual a proposta foi expandida para um ambiente virtual imersivo em realidade 360°, buscando ampliar as possibilidades de interação, engajamento e aplicação da abordagem baseada em crowdsourcing no contexto da alfabetização.

7.3 Resultados da *Sala 360A*

O segundo conjunto de resultados preliminares desta pesquisa foi obtido por meio da avaliação da *Sala 360A*. Parte desses resultados foi publicada em artigo científico (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026b), sendo aqui reorganizada e discutida à luz dos objetivos desta dissertação. Enquanto o artigo teve como foco principal a apresentação e a avaliação do ambiente virtual imersivo, nesta seção os resultados são analisados como evidências da evolução dos artefatos desenvolvidos e das possibilidades de interação proporcionadas pela abordagem proposta nesta pesquisa.

Conforme descrito na Seção 3, a *Sala 360A* representa a evolução da proposta inicialmente investigada por meio do App *Manu*. Mantendo os princípios de integração entre atividades de alfabetização e mecanismos inspirados na lógica do crowdsourcing, essa nova etapa ampliou as possibilidades de interação ao utilizar um ambiente virtual imersivo em realidade 360°, permitindo avaliar como a utilização de recursos tridimensionais poderia influenciar a usabilidade, o engajamento e o potencial pedagógico da solução.

A avaliação foi realizada com vinte professores e educadores alfabetizadores, que utilizaram o ambiente imersivo e, posteriormente, responderam a um questionário baseado no TAM, adaptado para o contexto desta pesquisa. Além da análise quantitativa das respostas, foram analisadas as respostas de perguntas abertas, permitindo identificar aspectos relacionados à aceitação da tecnologia, à experiência de uso e às possibilidades de aplicação da proposta em contextos educacionais.

Os resultados obtidos são apresentados em três etapas. Inicialmente, são discutidos os resultados quantitativos obtidos por meio do questionário TAM adaptado. Em seguida, são analisadas as evidências qualitativas provenientes das respostas às perguntas abertas e da entrevista. Por fim, apresenta-se uma síntese das principais contribuições dessa etapa para a consolidação da abordagem investigada nesta dissertação.

A análise dos dados quantitativos concentrou-se em estatística descritiva, calculando-se médias e desvios-padrão. A confiabilidade interna do questionário TAM apresentou excelente consistência, com coeficiente Alpha de Cronbach $\alpha = 0{,}903$.

A Tabela 8 sintetiza os resultados do questionário de usabilidade e aceitação aplicados aos educadores.

Tabela 8: Estatísticas descritivas dos itens do questionário inspirado no TAM ($N = 20$).

Nº	**Afirmação**	**Média**	**DP**
1	Achei fácil aprender a utilizar a *Sala 360A*.	4,35	0,67
2	As instruções eram claras e suficientes para a interação.	4,70	0,47
3	As funções da *Sala 360A* (teclado virtual, transcrição, navegação por gaze, etc.) estavam bem integradas.	4,50	0,51
4	Senti-me confiante ao utilizar a *Sala 360A*.	4,45	0,76
5	A navegação foi intuitiva e sem dificuldades.	4,30	0,73
6	O design e a disposição dos elementos (lousa, teclado, pegadas, etc.) facilitaram o uso.	4,65	0,59
7	A experiência de uso foi agradável.	4,85	0,37
8	Acredito que a *Sala 360A* pode ser útil para apoiar a alfabetização de crianças.	4,75	0,64
9	Usaria novamente a *Sala 360A* em atividades de ensino.	4,65	0,59
10	Recomendo o uso da *Sala 360A* para outros alfabetizadores.	4,70	0,66

Fonte: Elaborada pela autora, com base em Palhanos (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026b)

A distribuição das respostas também foi analisada por meio de um diagrama boxplot com pontos individuais sobrepostos (jitter) conforme exibido na Figura 24, destacando a percepção favorável quanto à adequação pedagógica do ambiente (4,75) e a maior dispersão das respostas no item sobre confiança ($DP = 0{,}76$).

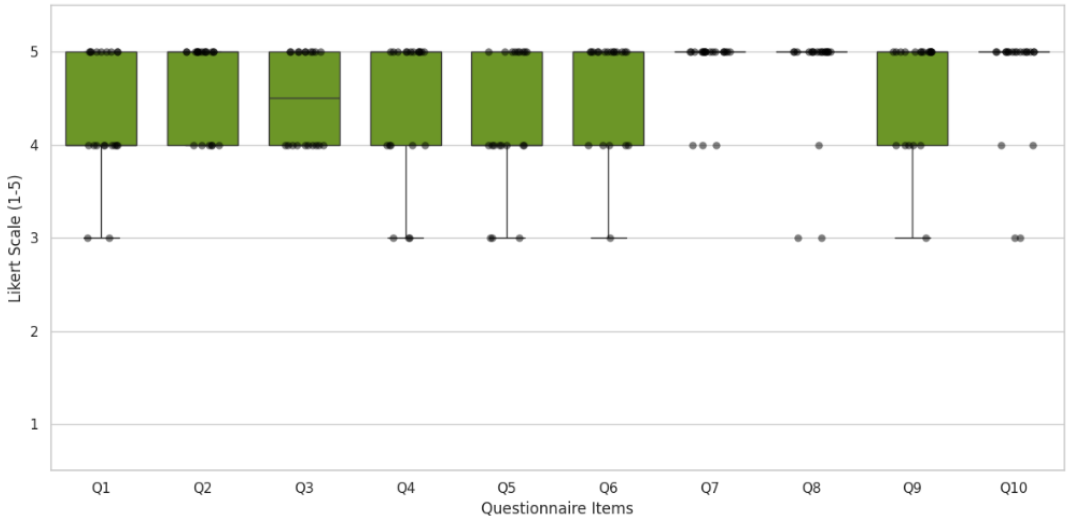


Figura 24: Distribuição das respostas aos itens do questionário ($N = 20$).

Fonte: Palhanos (2026) (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026b)

A análise dos resultados qualitativos, baseada nas respostas abertas do questionário (transcritas integralmente no Apêndice H) e na entrevista realizada com um dos participantes, indicou uma percepção predominantemente positiva sobre a *Sala 360A*, organizada em três temas centrais. Quanto ao valor educacional, o Participante 2 afirmou que a proposta "traz curiosidade e interesse, facilitando a aprendizagem enquanto eles se divertem", e o Participante 10 destacou seu potencial de inclusão, por permitir a participação de "alunos com certas condições ou deficiências". Na usabilidade, o Participante 10 descreveu a sala como "muito responsiva e intuitiva", embora o Participante 13 tenha achado a lousa "um pouco difícil". Por fim, entre as possibilidades de melhoria, cinco participantes mencionaram problemas de foco ou de nitidez (da imagem ou do olhar), como o Participante 16 ("demorou um pouco para focar"), e o Participante 5 relatou ter ficado "um pouco tonta e com enjôo". O Participante 4 sugeriu ainda "a inserção de som lendo a palavra e soletrando". Na entrevista, o docente entrevistado destacou o uso dos óculos, que "traz [. . .] uma ideia realmente de que você está em outro lugar", e apontou como ponto de melhoria que "nem tudo estava acessível", pois "várias coisas ali estavam compondo a sala, mas não eram para ser utilizadas", o que pode frustrar as crianças (Entrevistado, *Sala 360A*; Apêndice F). Diferentemente do Participante 5, o entrevistado não relatou tontura nem dificuldade de foco.

A Tabela 9 sintetiza os principais achados qualitativos, e as respostas completas de cada participante estão reunidas na Tabela 13 do Apêndice H.

Tabela 9: Síntese dos pontos fortes e aspectos a aprimorar na avaliação da *Sala 360A*.

Pontos Fortes	**Aspectos a Aprimorar**
Imersão e caráter lúdico do ambiente	Foco e nitidez (da imagem ou do olhar)
Interface responsiva e intuitiva	Dificuldade pontual com a lousa e a digitação
Potencial de engajamento e de inclusão	Desconforto visual (tontura e enjôo)
Instruções percebidas como claras	Feedback sonoro e orientações visuais adicionais

Fonte: Elaborada pela autora, com base em Palhanos (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026b)

7.3.1 Síntese dos resultados obtidos com a *Sala 360A*

Os resultados apresentados nas subseções anteriores permitem sintetizar as principais evidências produzidas pela avaliação da *Sala 360A*. Sob a perspectiva da aceitação da tecnologia, os participantes atribuíram avaliações predominantemente positivas ao ambiente virtual, evidenciadas pelas elevadas médias obtidas no questionário baseado no TAM e pela excelente consistência interna do instrumento, representada pelo coeficiente Alfa de Cronbach igual a 0,903. Esses resultados indicam que a proposta foi percebida como fácil de utilizar, agradável e adequada para apoiar atividades relacionadas ao processo de alfabetização.

Do ponto de vista pedagógico, os participantes reconheceram potencial para utilização da *Sala 360A* como recurso complementar às práticas de alfabetização desenvolvidas em sala de aula. Os relatos qualitativos destacaram principalmente o caráter lúdico do ambiente (segundo o Participante 4, "as experiências lúdicas são mais significativas para as crianças"), a simplicidade da interação baseada no direcionamento do olhar e a possibilidade de aumentar o engajamento das crianças durante atividades de leitura e escrita. Esses resultados sugerem que ambientes virtuais imersivos podem ampliar as possibilidades de utilização de tecnologias digitais no contexto da alfabetização, oferecendo experiências interativas compatíveis com os objetivos educacionais da proposta.

Além dos aspectos relacionados à usabilidade e ao potencial pedagógico, esta etapa da pesquisa forneceu novas evidências sobre a viabilidade da abordagem baseada em crowdsourcing investigada nesta dissertação. Embora a coleta colaborativa de dados ainda não tenha sido implementada na *Sala 360A*, o ambiente virtual permitiu avaliar como diferentes formas de interação imersiva podem favorecer o engajamento dos usuários e criar condições para futuras estratégias de participação colaborativa voltadas ao enriquecimento de bases de dados destinadas ao HTR cursivo.

A avaliação também permitiu identificar oportunidades de aprimoramento da solução proposta. As observações dos participantes evidenciaram a necessidade de aperfeiçoar o processo inicial de utilização do ambiente, tornando mais claras as formas de interação por meio de orientações, pistas visuais e mecanismos adicionais de feedback. Essas sugestões não comprometem a viabilidade da proposta, mas fornecem subsídios importantes para sua evolução e para o desenvolvimento de versões futuras do ambiente virtual.

De forma geral, os resultados obtidos com a *Sala 360A* reforçam as evidências produzidas na etapa anterior da pesquisa, representada pelo App *Manu*, ao mesmo tempo em que demonstram a evolução da abordagem investigada. Enquanto o primeiro protótipo permitiu validar a integração entre atividades de alfabetização e a lógica inspirada no reCAPTCHA, a *Sala 360A* ampliou essa proposta ao explorar recursos de RV imersiva, oferecendo novas possibilidades de interação, engajamento e acessibilidade.

Dessa forma, a avaliação da *Sala 360A* constitui uma importante etapa de investigação da interação dos participantes com o segundo artefato desenvolvido nesta dissertação, permitindo ampliar as evidências obtidas na etapa anterior. Os resultados obtidos fornecem evidências sobre a percepção dos participantes a partir da interação com o artefato, especialmente quanto à usabilidade, à aceitação e ao potencial pedagógico da *Sala 360A*, além de indicarem possibilidades de evolução dos artefatos e de utilização futura da abordagem proposta.

7.4 Integração dos resultados

A integração dos resultados quantitativos e qualitativos permitiu compreender, de forma complementar e evolutiva, as percepções dos participantes sobre a interação com os artefatos desenvolvidos, considerando aspectos de usabilidade, aceitação e potencial pedagógico.

Os dados do primeiro ciclo demonstraram a usabilidade e a aceitabilidade do App *Manu* ($N = 5$) por meio do score global do SUS (74,0), confirmando que a lógica de interação 2D e o fluxo de entrada de dados eram intuitivos no ambiente móvel. Esses achados qualitativos e quantitativos preliminares forneceram a base necessária para subsidiar a evolução do protótipo para o ambiente imersivo.

No segundo ciclo, voltado à *Sala 360A* ($N = 20$), a análise quantitativa indicou percepções predominantemente positivas em relação à facilidade de uso, à integração dos elementos, ao engajamento e à adequação ao contexto pedagógico. O Alpha de Cronbach de 0,903 confirmou a elevada consistência interna do instrumento baseado no TAM aplicado a essa etapa.

Os dados qualitativos, por sua vez, enriqueceram o panorama quantitativo ao identificar nuances da experiência imersiva não capturadas apenas pelas médias da escala Likert. Destacaram-se a relevância de aprimorar a orientação inicial ao usuário, a necessidade de aumentar a clareza das pistas visuais (o Participante 12 sentiu "falta de orientações visuais mais claras para guiar o usuário dentro do ambiente") e a oportunidade de incorporar feedback multimodal (sonoro e visual), como sugerido pelo Participante 7 ("ter acompanhamento e instruções com som"), para mitigar a variabilidade observada na interação baseada no olhar.

A combinação desses achados nos dois ciclos de teste reforça o caráter formativo da avaliação realizada. O objetivo principal não foi mensurar ganhos diretos de aprendizagem, mas obter evidências consistentes sobre a usabilidade, a acessibilidade e a adequação percebida da abordagem no contexto educacional.

Embora a integração direta com os módulos de HTR não tenha sido o foco da coleta com os educadores nesta etapa, a simulação das atividades permitiu validar o fluxo de interação e a viabilidade do sistema. Assim, a articulação dos resultados do App *Manu* e da *Sala 360A* fornece subsídios consolidados para o aprimoramento das interfaces, para a condução de estudos futuros com o público infantil e para o enriquecimento de bases de dados voltadas ao HTR cursivo.

8 DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Seção 7 são discutidos a seguir à luz da literatura, articulando as evidências obtidas com o potencial de enriquecimento colaborativo de bases de dados para HTR cursivo. Diferentemente de pesquisas que investigam exclusivamente algoritmos de reconhecimento, conjuntos de dados ou tecnologias educacionais, esta pesquisa buscou integrar esses domínios por meio de uma proposta metodológica capaz de aproximar objetivos pedagógicos e computacionais em uma mesma experiência de interação.

O levantamento da literatura apresentado na Seção 5 (Trabalhos Relacionados) evidenciou que os estudos recentes concentram-se predominantemente no desenvolvimento de modelos de HTR, na construção de bases de dados e na proposição de técnicas voltadas ao HTR. Paralelamente, pesquisas em tecnologias digitais para alfabetização e ambientes virtuais imersivos destacam o potencial desses recursos para promover maior engajamento, interação e participação dos estudantes durante o processo de aprendizagem. Entretanto, poucos trabalhos exploram a possibilidade de integrar essas duas perspectivas, utilizando atividades educacionais como mecanismo para futuras estratégias de geração colaborativa de dados.

Nesse contexto, esta dissertação propôs uma abordagem que aproxima esses domínios por meio de atividades de alfabetização concebidas para preservar sua finalidade pedagógica e, simultaneamente, criar condições para que futuras implementações possam incorporar mecanismos colaborativos destinados ao enriquecimento de bases de dados para HTR. Essa proposta foi investigada por meio de dois protótipos complementares. O App *Manu* permitiu avaliar a aplicação inicial dos princípios da abordagem em um ambiente bidimensional, enquanto a *Sala 360A* possibilitou analisar sua adaptação para um ambiente virtual imersivo. Embora utilizem tecnologias distintas, ambos os protótipos implementam princípios inspirados na lógica do crowdsourcing, permitindo avaliar a viabilidade da proposta metodológica em diferentes formas de interação.

Convém situar, de início, que esta pesquisa não teve como objetivo implementar um sistema completo de crowdsourcing, construir uma base de dados para HTR cursivo ou avaliar o

impacto dos dados produzidos sobre o treinamento de modelos de HTR. Consequentemente, as discussões apresentadas nesta seção concentram-se na interpretação das evidências obtidas quanto à viabilidade da abordagem proposta, às suas contribuições em relação à literatura e às possibilidades de evolução identificadas a partir dos resultados experimentais.

Com base nessas considerações, esta seção discute inicialmente a contribuição da abordagem proposta frente à literatura, analisa as evidências de sua viabilidade a partir dos resultados obtidos com os protótipos desenvolvidos, examina seu potencial para o enriquecimento colaborativo de bases de dados destinadas ao HTR cursivo, apresenta as principais limitações da pesquisa e, por fim, discute perspectivas futuras e as implicações pedagógicas e tecnológicas decorrentes da proposta apresentada.

8.1 Discussão da abordagem proposta à luz da literatura

Os resultados obtidos com o App *Manu* e com a *Sala 360A* permitem discutir a contribuição da abordagem proposta nesta dissertação em relação aos trabalhos identificados no levantamento da literatura. Conforme apresentado na Seção 7, ambos os protótipos forneceram evidências favoráveis quanto à aceitação da proposta e à sua viabilidade inicial, indicando que atividades de alfabetização podem incorporar princípios inspirados na lógica do crowdsourcing sem comprometer sua finalidade pedagógica. Embora essa abordagem ainda não corresponda à implementação completa de um sistema colaborativo para geração de bases de dados destinadas ao HTR, os resultados obtidos permitem discutir como a proposta se posiciona em relação ao estado da arte.

O levantamento da literatura realizado nesta pesquisa evidenciou que os estudos recentes sobre HTR concentram-se principalmente no desenvolvimento de modelos de reconhecimento, na criação ou expansão de bases de dados e no aperfeiçoamento de arquiteturas baseadas em aprendizado profundo (AlKendi *et al.*, 2024; Saeed *et al.*, 2024; Garrido-Muñoz; Calvo-Zaragoza, 2024; Li *et al.*, 2025a). Esses trabalhos demonstram que a disponibilidade de conjuntos de dados amplos, diversificados e corretamente anotados permanece um dos principais desafios para a evolução da área. Entretanto, observa-se que a geração desses dados normalmente ocorre por meio de campanhas específicas de coleta, processos de anotação manual ou utilização de bases previamente existentes.

Paralelamente, pesquisas sobre tecnologias digitais aplicadas à alfabetização destacam que recursos computacionais interativos podem favorecer o engajamento dos estudantes, oferecer feedback imediato e ampliar as possibilidades de aprendizagem (Neumann, 2016; Hattie; Tim-

perley, 2007; Shute, 2008). De forma semelhante, estudos envolvendo ambientes virtuais imersivos evidenciam que a RV pode tornar as experiências educacionais mais envolventes, favorecendo a interação e a participação ativa dos usuários (Grewe; Gie, 2023; Radianti *et al.*, 2020). Em geral, contudo, essas investigações concentram-se na utilização da tecnologia como recurso pedagógico, sem explorar seu potencial para contribuir simultaneamente com problemas computacionais relacionados ao HTR.

Nesse contexto, a principal contribuição desta dissertação consiste na avaliação da interação de professores com ferramentas que aproximam essas áreas de investigação. Em vez de tratar a alfabetização apenas como um contexto de aplicação de tecnologias digitais, a abordagem proposta considera que atividades pedagógicas podem, futuramente, constituir também um mecanismo para o enriquecimento colaborativo de bases de dados destinadas ao HTR. Dessa forma, objetivos pedagógicos e computacionais passam a coexistir em uma mesma proposta metodológica, preservando a aprendizagem como finalidade principal da interação.

Os resultados obtidos com os dois protótipos oferecem evidências iniciais favoráveis a essa perspectiva. O App *Manu* demonstrou que princípios inspirados na lógica do crowdsourcing podem ser incorporados a atividades relacionadas à alfabetização de maneira simples e bem aceita pelos participantes. Posteriormente, a *Sala 360A* mostrou que esses mesmos princípios também podem ser implementados em um ambiente virtual imersivo, preservando a coerência da proposta metodológica mesmo em uma plataforma tecnológica distinta. Em conjunto, essas evidências sugerem que os princípios que orientam a proposta podem ser materializados em diferentes tecnologias e formas de interação, sem que os resultados obtidos nesta pesquisa permitam concluir sobre a efetividade de um mecanismo completo de crowdsourcing.

Vale reiterar, nesse ponto, que esta pesquisa concentrou-se na investigação da interação de professores e educadores com os artefatos desenvolvidos, concebidos a partir dos princípios da abordagem proposta, não contemplando a implementação completa de um mecanismo colaborativo nem sua validação em condições reais de geração de bases de dados para HTR. Consequentemente, sua principal contribuição não consiste na criação de uma nova base de dados nem na proposição de um novo algoritmo de HTR. A contribuição desta dissertação reside na avaliação da interação de professores com ferramentas que materializam uma proposta interdisciplinar, aproximando alfabetização, tecnologias digitais e HTR cursivo, e estabelecendo fundamentos para futuras pesquisas voltadas à implementação completa desse processo.

A partir dessa discussão, torna-se possível analisar de forma mais específica três dimensões centrais da proposta apresentada nesta dissertação: a utilização de princípios de crowdsourcing para o enriquecimento de bases de dados destinadas ao HTR cursivo, o papel das tecnologias

digitais no contexto da alfabetização e a contribuição de ambientes virtuais imersivos para a evolução da abordagem proposta. Essas dimensões são discutidas nas subseções seguintes.

8.1.1 Crowdsourcing para o enriquecimento de bases de dados para HTR

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem discutir o potencial da utilização de princípios de crowdsourcing no contexto da construção de bases de dados destinadas ao HTR. Embora os protótipos desenvolvidos não tenham implementado um sistema completo de coleta colaborativa, as avaliações realizadas com o App *Manu* e com a *Sala 360A* indicam que as atividades propostas foram compreendidas e bem aceitas pelos participantes. Essas evidências sugerem que é possível incorporar princípios inspirados no crowdsourcing a atividades educacionais sem comprometer sua finalidade pedagógica, estabelecendo as bases para futuras implementações da abordagem.

A literatura sobre HTR destaca que a disponibilidade de bases de dados amplas, diversificadas e corretamente anotadas permanece um dos principais desafios para o desenvolvimento de modelos de reconhecimento mais robustos e capazes de generalizar para diferentes estilos de escrita (AlKendi *et al.*, 2024; Saeed *et al.*, 2024; Garrido-Muñoz; Calvo-Zaragoza, 2024; Li *et al.*, 2025a). Em geral, a obtenção dessas bases depende de campanhas específicas de coleta, processos de anotação manual ou da utilização de conjuntos de dados previamente disponíveis, demandando elevado esforço humano e recursos financeiros.

Nesse contexto, diferentes estratégias baseadas em crowdsourcing vêm sendo utilizadas para distribuir tarefas entre um grande número de participantes, reduzindo custos e aumentando a escalabilidade do processo de produção de dados. O exemplo mais conhecido é o reCAPTCHA (Ahn *et al.*, 2008), que demonstrou como interações originalmente destinadas à verificação de usuários poderiam ser aproveitadas para auxiliar na digitalização de documentos. Trabalhos posteriores ampliaram essa perspectiva, evidenciando o potencial do crowdsourcing em diferentes aplicações científicas e educacionais (Howe, 2006; Quinn; Bederson, 2011).

Entretanto, os estudos identificados no levantamento da literatura realizado nesta dissertação concentram-se estritamente em técnicas de Aprendizado Profundo, pré-processamento e geração sintética de dados para HTR, sem abordar o crowdsourcing como abordagem para a formação de dados ou sua integração com o ambiente de uso. Dessa forma, o desenvolvimento dos modelos e a produção prática desses dados permanecem dissociados na literatura. A abordagem proposta nesta pesquisa busca preencher essa lacuna ao utilizar o contexto educacional (por meio do App *Manu* e da *Sala 360A*) como meio para viabilizar a coleta e a validação colaborativa de dados de escrita manuscrita cursiva em tempo real. A proposta apresentada nesta pesquisa adota uma

perspectiva distinta. Em vez de criar tarefas cujo objetivo principal seja produzir dados para HTR cursivo, a abordagem propõe que essa produção possa ocorrer como consequência natural de atividades desenvolvidas para apoiar o processo de alfabetização.

Essa mudança de perspectiva constitui a principal contribuição metodológica da pesquisa. Na abordagem proposta, a interação do estudante continua tendo como finalidade principal favorecer a aprendizagem, enquanto a geração de dados passa a representar um benefício adicional decorrente da própria atividade pedagógica. Assim, objetivos educacionais e computacionais deixam de competir entre si e passam a coexistir em uma mesma experiência de interação.

Os resultados obtidos com os dois protótipos fornecem evidências iniciais favoráveis a essa proposta. O App *Manu* demonstrou que atividades inspiradas na lógica do crowdsourcing podem ser integradas a um aplicativo educacional mantendo boa aceitação por parte das participantes. De forma complementar, a *Sala 360A* mostrou que esses mesmos princípios permanecem aplicáveis em um ambiente virtual imersivo, sugerindo que a abordagem apresenta flexibilidade suficiente para ser implementado em diferentes plataformas tecnológicas.

Cabe registrar que esta pesquisa não implementou todas as etapas necessárias para um sistema colaborativo de geração de bases de dados para HTR cursivo. Não foram desenvolvidos mecanismos de validação colaborativa, controle de qualidade, armazenamento estruturado das amostras ou utilização dos dados produzidos no treinamento de modelos de reconhecimento. Dessa forma, os resultados obtidos não permitem afirmar que a abordagem produz bases de dados mais representativas ou melhora o desempenho de sistemas de HTR.

Ainda assim, considera-se que as evidências produzidas nesta pesquisa representam um passo importante para essa direção. Ao demonstrar que atividades de alfabetização podem incorporar princípios inspirados no crowdsourcing preservando sua finalidade pedagógica, esta dissertação estabelece os fundamentos para futuras investigações voltadas à implementação completa do fluxo colaborativo de geração, validação e utilização de dados destinados ao HTR cursivo.

8.1.2 Tecnologias digitais no contexto da alfabetização

A literatura sobre tecnologias digitais aplicadas à alfabetização tem evidenciado que recursos interativos podem favorecer o engajamento dos estudantes, oferecer feedback imediato e ampliar as possibilidades de aprendizagem (Neumann, 2016; Hattie; Timperley, 2007; Shute, 2008). Em geral, esses estudos investigam como diferentes tecnologias podem apoiar o desenvolvimento das habilidades de leitura e escrita, analisando aspectos relacionados à motivação, à usabilidade

e aos resultados pedagógicos obtidos.

Os resultados desta pesquisa dialogam com essa literatura ao demonstrar que tanto o App *Manu* quanto a *Sala 360A* foram bem aceitos pelos participantes, que reconheceram potencial pedagógico nas atividades propostas. As avaliações realizadas indicam que a integração de recursos digitais ao contexto da alfabetização pode proporcionar experiências de aprendizagem consideradas agradáveis, intuitivas e motivadoras, como ilustram os relatos de que o App *Manu* "é intuitivo e de fácil manuseamento" (Participante 2) e de que, na *Sala 360A*, "a partir das orientações foi fácil" (Participante 4), corroborando resultados apresentados em estudos anteriores.

Entretanto, a principal contribuição desta dissertação não consiste em demonstrar a eficácia de tecnologias digitais para alfabetização, uma vez que esse tema já se encontra amplamente consolidado na literatura. O diferencial da pesquisa está em avaliar a interação de professores com ferramentas que utilizam essas tecnologias como apoio ao HTR cursivo, abrindo caminho para que, futuramente, atividades educacionais possam contribuir para o enriquecimento colaborativo de bases de dados destinadas ao HTR cursivo.

Sob essa perspectiva, as tecnologias digitais deixam de desempenhar exclusivamente o papel de ferramentas de apoio ao ensino e passam a atuar também como infraestrutura para operacionalizar a abordagem proposta. As interações realizadas pelos estudantes continuam tendo finalidade pedagógica, mas passam a apresentar o potencial de produzir um benefício adicional, relacionado à geração de dados de interesse computacional.

Os resultados obtidos com os dois protótipos reforçam essa interpretação. Em nenhum momento foram observadas evidências de que a incorporação dos princípios da abordagem tenha comprometido a experiência dos participantes ou reduzido a percepção de utilidade das atividades propostas. Pelo contrário, tanto os resultados quantitativos quanto os qualitativos indicam que os participantes compreenderam as tarefas e reconheceram seu potencial para utilização em contextos educacionais.

É importante destacar que esta pesquisa não avaliou a aprendizagem das crianças nem comparou a abordagem proposta com outras estratégias de alfabetização. Consequentemente, os resultados não permitem afirmar que a abordagem produz ganhos de aprendizagem superiores aos de outras tecnologias educacionais. As evidências obtidas restringem-se à aceitação da abordagem e à sua compatibilidade com o contexto pedagógico em que foi investigada.

Assim, considera-se que a principal contribuição desta pesquisa para essa área consiste em demonstrar que tecnologias digitais podem servir não apenas como instrumentos de apoio à

alfabetização, mas também como meio para integrar objetivos pedagógicos e computacionais em uma mesma experiência de interação. Essa característica amplia o potencial de utilização dessas tecnologias e diferencia a abordagem proposta das abordagens tradicionalmente descritas na literatura.

8.1.3 Ambientes virtuais imersivos como plataforma para a abordagem

A literatura sobre ambientes virtuais imersivos na educação tem demonstrado que tecnologias como RV e ambientes tridimensionais podem favorecer o engajamento, a motivação e a participação ativa dos estudantes em diferentes contextos de aprendizagem (Hamilton *et al.*, 2021; Radianti *et al.*, 2020). Em geral, essas pesquisas investigam os benefícios pedagógicos proporcionados pela imersão, pela interação espacial e pela possibilidade de simular ambientes que dificilmente poderiam ser reproduzidos em salas de aula convencionais.

Nesta dissertação, entretanto, a utilização da RV possui um propósito distinto. A *Sala 360A* não foi desenvolvida para demonstrar a superioridade dos ambientes imersivos em relação a outras tecnologias educacionais, nem para investigar especificamente seus impactos sobre o processo de alfabetização. Seu papel consistiu em verificar se a abordagem proposta poderia ser implementada em uma plataforma tecnológica diferente daquela utilizada no App *Manu*, preservando seus princípios fundamentais.

Os resultados obtidos indicam que essa adaptação foi bem-sucedida. A avaliação da *Sala 360A* revelou elevada aceitação por parte dos participantes, que reconheceram o potencial pedagógico do ambiente, sua facilidade de utilização e a qualidade da experiência proporcionada pela interação imersiva. O Participante 2 destacou "a sensação de estar realmente ali", e o Participante 15 escreveu: "Achei muito legal me teletransportar para uma sala de aula".

Esses resultados sugerem que os princípios da abordagem proposta independem da tecnologia utilizada para sua implementação. Embora o App *Manu* e a *Sala 360A* utilizem interfaces bastante distintas (aplicativo móvel convencional e um ambiente virtual imersivo em realidade 360°) ambos permitiram implementar atividades compatíveis com a proposta metodológica e apresentaram avaliações favoráveis por parte dos participantes.

Essa característica representa uma contribuição importante da pesquisa, pois amplia as possibilidades de evolução da abordagem. Em princípio, sua implementação não se restringe a aplicativos móveis ou ambientes virtuais, podendo ser adaptada para diferentes plataformas tecnológicas, desde que sejam preservados os princípios que orientam a integração entre atividades pedagógicas e mecanismos inspirados no crowdsourcing. Essa flexibilidade favorece futuras

aplicações em diferentes contextos educacionais e amplia as possibilidades de investigação da abordagem.

Ressalva-se, contudo, que esta pesquisa não comparou diferentes tecnologias educacionais nem avaliou se ambientes imersivos produzem melhores resultados do que interfaces bidimensionais convencionais. Também não foram investigados aspectos relacionados ao desempenho da aprendizagem em função da utilização da RV. Dessa forma, as evidências produzidas restringem-se à demonstração de que a abordagem pôde ser implementada com sucesso em uma plataforma imersiva, preservando sua coerência conceitual e sua aceitação pelos participantes.

Assim, considera-se que a principal contribuição do App *Manu* e da *Sala 360A* para esta dissertação não está nas plataformas em si (móveis ou em RV), mas na demonstração de que a abordagem proposta apresenta flexibilidade suficiente para ser implementada em diferentes artefatos tecnológicos. Essa característica fortalece a proposta metodológica apresentada nesta pesquisa e amplia suas possibilidades de evolução em trabalhos futuros.

8.2 Abordagem proposta no contexto educacional

Um dos principais achados desta pesquisa consiste em evidenciar a possibilidade de integrar princípios inspirados no crowdsourcing a atividades voltadas ao processo de alfabetização, materializados nos artefatos desenvolvidos e investigados por meio da interação com professores e educadores. As avaliações realizadas com o App *Manu* e com a *Sala 360A* indicaram que os participantes compreenderam as atividades, consideraram as interfaces adequadas ao contexto educacional e reconheceram potencial para sua utilização como recurso complementar às práticas de alfabetização.

Esses resultados são particularmente relevantes porque a proposta metodológica apresentada nesta dissertação poderia, em princípio, introduzir uma tensão entre dois objetivos distintos: favorecer a aprendizagem dos estudantes e, simultaneamente, criar condições para que suas interações possam contribuir para o enriquecimento colaborativo de bases de dados destinadas ao HTR. As evidências obtidas sugerem, entretanto, que esses objetivos não são necessariamente conflitantes quando as atividades educacionais e os mecanismos de interação são adequadamente planejados.

Os resultados qualitativos obtidos com ambos os protótipos reforçam essa interpretação. Os participantes destacaram aspectos relacionados ao caráter lúdico das atividades, à simplicidade das interfaces, à facilidade de utilização e ao potencial motivador das propostas. No App *Manu*, o Participante 5 o considerou "colorido e relativamente fácil de usar"; na *Sala 360A*, o

Participante 7 reconheceu a contribuição da proposta "principalmente no engajamento usando tecnologia". Essas características são frequentemente apontadas na literatura como fatores importantes para promover o engajamento em atividades educacionais mediadas por tecnologias digitais (Neumann, 2016; Plass; Homer; Kinzer, 2015; Hattie; Timperley, 2007).

Nesse contexto, observa-se que a principal premissa da abordagem proposta é a sua integração conceitual não intrusiva às dinâmicas de uso de um sistema. Diferentemente de abordagens nas quais o usuário seria submetido a tarefas criadas exclusivamente para a rotulagem de dados, a arquitetura metodológica formulada nesta pesquisa visa permitir a extração e a validação de amostras para HTR de forma transparente, como um subproduto natural da interação. No âmbito desta dissertação, o contexto pedagógico e os artefatos desenvolvidos (App *Manu* e *Sala 360A*) servem como cenários de simulação e exploração da proposta, permitindo discutir possibilidades de coleta futura de dados de forma integrada às atividades educacionais, sem impor tarefas artificiais ao fluxo principal da atividade.

Essa característica diferencia a abordagem das que são tradicionais de crowdsourcing. Em vez de solicitar ao usuário a execução de tarefas voltadas diretamente à produção ou validação de dados, a proposta procura integrar essa possibilidade ao contexto da aprendizagem, preservando o protagonismo da atividade pedagógica. Dessa forma, o estudante participa da atividade porque ela faz sentido em seu processo de aprendizagem, enquanto a produção de dados representa um benefício adicional decorrente dessa interação.

Como já discutido na Seção 8.1.2, esta limitação (ausência de avaliação de ganhos de aprendizagem e de comparação com outras estratégias de alfabetização) também se aplica à *Sala 360A*. As evidências apresentadas restringem-se à percepção dos especialistas e educadores que participaram das avaliações.

Ainda assim, considera-se que os resultados obtidos representam uma evidência importante da viabilidade pedagógica da abordagem proposta. Ao demonstrar que princípios inspirados no crowdsourcing podem ser incorporados a atividades de alfabetização sem comprometer sua finalidade educacional, esta pesquisa estabelece um passo inicial para futuras investigações que avaliem simultaneamente seus impactos pedagógicos e sua contribuição para o enriquecimento colaborativo de bases de dados destinadas ao HTR cursivo.

8.3 Potencial da abordagem para o enriquecimento colaborativo de bases de dados para HTR

A disponibilidade de bases de dados amplas, diversificadas e corretamente anotadas constitui um dos principais fatores para o desenvolvimento de sistemas de HTR. Conforme discutido no levantamento da literatura, grande parte das pesquisas recentes concentra esforços no desenvolvimento de arquiteturas de reconhecimento e de modelos baseados em Aprendizado Profundo, cujo desempenho depende diretamente da qualidade e da representatividade dos dados utilizados durante o treinamento (AlKendi *et al.*, 2024; Saeed *et al.*, 2024; Garrido-Muñoz; Calvo-Zaragoza, 2024; Li *et al.*, 2025b).

Apesar dos avanços observados na área, a obtenção dessas bases de dados ainda representa um processo complexo e oneroso. Em geral, a coleta de amostras manuscritas exige campanhas específicas, participação de voluntários, procedimentos de anotação manual e etapas de validação realizadas por especialistas. Essas atividades demandam tempo, recursos humanos e custos significativos, limitando a disponibilidade de conjuntos de dados suficientemente representativos para diferentes idiomas, faixas etárias e estilos de escrita.

A abordagem proposta nesta dissertação busca oferecer uma perspectiva complementar para esse problema. Em vez de tratar a coleta de dados como uma atividade independente, realizada exclusivamente para atender às necessidades dos sistemas de HTR, a proposta investiga a possibilidade de integrar essa coleta a atividades desenvolvidas no contexto da alfabetização. Nessa abordagem, a produção de dados deixa de constituir um objetivo isolado e passa a ocorrer, potencialmente, como consequência das interações realizadas durante atividades educacionais.

Essa característica representa uma mudança conceitual importante. Enquanto abordagens tradicionais normalmente separam o processo de aprendizagem da produção de bases de dados, a abordagem proposta procura aproximar esses dois contextos. Assim, atividades realizadas por estudantes durante o processo de alfabetização poderão, em implementações futuras, contribuir simultaneamente para sua aprendizagem e para o enriquecimento colaborativo de bases de dados destinadas ao HTR.

Como discutido na Seção 8.1.1, esta pesquisa não implementou o fluxo completo de geração colaborativa, o que impede afirmar que a abordagem produza bases de dados mais representativas ou melhore o desempenho de sistemas de HTR. Consequentemente, não é possível afirmar que a abordagem produza bases de dados mais representativas nem que resulte em melhorias no desempenho de sistemas de reconhecimento automático.

Entretanto, os resultados obtidos com os protótipos fornecem evidências de que a proposta

apresenta condições favoráveis para evoluir nessa direção. As avaliações realizadas demonstraram que os participantes compreenderam as atividades, aceitaram as interfaces desenvolvidas e reconheceram seu potencial de utilização no contexto educacional. Essas evidências sugerem que a abordagem pode ser implementada preservando a finalidade pedagógica das atividades, condição considerada essencial para que uma futura estratégia de enriquecimento colaborativo de bases de dados seja sustentável em ambientes educacionais.

Uma possível evolução da abordagem consiste na substituição de atividades baseadas exclusivamente na transcrição de palavras por tarefas que envolvam a produção de escrita manuscrita cursiva. Inspirada na experiência adquirida com o App *Lili* (Oliveira; Palhanos, 2023), desenvolvido anteriormente para apoiar pessoas com dislexia na aprendizagem de idiomas, essa proposta prevê a apresentação de imagens representando objetos do cotidiano para que a criança escreva manualmente o nome correspondente. Embora essa funcionalidade não faça parte do App *Lili*, nem tenha sido implementada nesta pesquisa, ela exemplifica como atividades pedagógicas podem ser adaptadas para produzir continuamente novas amostras de palavra manuscrita cursiva durante o processo de alfabetização.

Sob essa perspectiva, considera-se que a principal contribuição desta dissertação consiste na avaliação da interação, da usabilidade e da aceitação de ferramentas que integram objetivos pedagógicos e computacionais em uma mesma experiência. Mais do que propor uma técnica de reconhecimento ou uma nova base de dados, esta pesquisa reúne evidências sobre essa interação, abrindo novas possibilidades para investigações futuras sobre a geração colaborativa de bases de dados para HTR cursivo.

8.4 Contribuições científicas e sociais

A principal contribuição científica desta pesquisa consiste na avaliação da interação de professores da Educação Básica com ferramentas digitais de apoio ao HTR cursivo, inspiradas nos princípios do crowdsourcing e na lógica do reCAPTCHA, aplicadas ao contexto da alfabetização. Diferentemente de abordagens centradas exclusivamente no desenvolvimento de modelos de HTR ou na construção de bases de dados, a proposta articula objetivos educacionais e computacionais em uma mesma experiência de interação, reunindo evidências sobre sua usabilidade e aceitação que poderão, no futuro, subsidiar estratégias de geração e validação colaborativa de dados.

Nesse sentido, a pesquisa contribui para ampliar as possibilidades de obtenção de amostras diversificadas de escrita manuscrita cursiva, aspecto relevante diante das limitações relacionadas

à disponibilidade e à diversidade dos conjuntos de dados utilizados em pesquisas de HTR (Saeed et al., 2024b). Embora a coleta e a validação colaborativa tenham sido representadas por meio de simulações nesta etapa da pesquisa, os resultados obtidos com o App *Manu* e a *Sala 360A* fornecem evidências iniciais de que atividades educacionais podem constituir um contexto viável para futuras implementações da abordagem.

Outra contribuição científica está relacionada à adaptação dos princípios de crowdsourcing e inteligência coletiva, inspirados na lógica do reCAPTCHA (Ahn et al., 2008), para um contexto educacional. A proposta considera que a convergência das respostas dos participantes poderá, em implementações futuras, ser utilizada como mecanismo de validação colaborativa das transcrições, contribuindo para a obtenção de dados mais confiáveis e para a redução da dependência de processos exclusivamente manuais de validação.

Sob a perspectiva social, a pesquisa contribui ao explorar a utilização de tecnologias digitais como suporte a atividades relacionadas à alfabetização. Os resultados das avaliações realizadas com profissionais da educação indicaram percepção positiva quanto à usabilidade, à aceitação e ao potencial pedagógico dos protótipos desenvolvidos, evidenciando que a proposta pode ser incorporada a experiências educacionais sem comprometer sua finalidade pedagógica. Nesse contexto, a abordagem apresenta potencial para favorecer experiências de aprendizagem mais interativas e motivadoras, embora seus efeitos sobre a aprendizagem e sobre o desenvolvimento de habilidades de leitura e escrita ainda precisem ser investigados em estudos futuros.

Assim, as contribuições desta dissertação não se restringem ao desenvolvimento dos protótipos App *Manu* e *Sala 360A*, mas concentram-se na avaliação da interação, da usabilidade e da aceitação de ferramentas que integram alfabetização, tecnologias digitais, crowdsourcing e HTR em uma mesma abordagem. Os resultados fornecem evidências iniciais favoráveis e estabelecem fundamentos para que, futuramente, essas ferramentas possam subsidiar a geração e o enriquecimento colaborativo de bases de dados de escrita manuscrita cursiva.

8.5 Inteligência Artificial Generativa e o cenário do HTR

O avanço recente das ferramentas de Inteligência Artificial Generativa modifica o contexto tecnológico no qual se insere a pesquisa, especialmente pela ampliação das possibilidades de processamento, interpretação e geração de conteúdo multimodal. No domínio do reconhecimento de escrita, essas tecnologias podem complementar abordagens tradicionais de OCR e HTR em tarefas relacionadas à interpretação de imagens, validação de resultados e processamento de diferentes formas de informação.

Entretanto, a utilização de modelos generativos não elimina a necessidade de conjuntos de dados diversificados e representativos para a avaliação e o desenvolvimento de sistemas de reconhecimento de escrita. A variabilidade da escrita manuscrita continua impondo desafios relacionados à representação dos diferentes estilos, idiomas, níveis de habilidade e condições de produção dos manuscritos. Nesse sentido, as possibilidades introduzidas pelas IAG não substituem a questão investigada nesta dissertação, mas ampliam o cenário tecnológico no qual uma estratégia de obtenção e validação de dados pode ser explorada.

Cabe destacar que as ferramentas de Inteligência Artificial Generativa não foram objeto de avaliação experimental nesta pesquisa. Seu uso esteve restrito ao apoio declarado na Seção 3.5. Assim, as considerações apresentadas nesta seção possuem caráter contextual e indicam uma possibilidade para investigações futuras, especialmente em estudos que explorem a combinação entre mecanismos colaborativos de coleta de dados e modelos capazes de auxiliar sua organização, validação ou processamento.

8.6 Limitações da pesquisa

Os resultados discutidos ao longo desta dissertação fornecem evidências iniciais sobre a viabilidade da abordagem proposta. Entretanto, essas evidências devem ser interpretadas considerando as delimitações metodológicas estabelecidas para esta pesquisa. Longe de representar fragilidades da proposta, tais delimitações refletem as escolhas realizadas para concentrar a investigação na concepção e na avaliação inicial da abordagem, constituindo uma etapa preliminar para estudos futuros.

A principal delimitação refere-se ao próprio escopo da pesquisa: a abordagem proposta não chega a implementar um sistema completo de crowdsourcing, nem a infraestrutura necessária para armazenamento, validação e utilização das amostras produzidas: estas etapas foram deixadas para trabalhos futuros.

Em decorrência dessa escolha metodológica, também não foram investigados aspectos relacionados à qualidade, à representatividade ou à diversidade dos dados que poderiam ser gerados pela abordagem. Da mesma forma, não foram implementados mecanismos de validação colaborativa das amostras, procedimentos de controle de qualidade ou estratégias de integração dessas informações ao treinamento de modelos de HTR. Consequentemente, esta pesquisa não permite avaliar o impacto efetivo da abordagem sobre o desempenho de sistemas de HTR.

Outra limitação refere-se ao processo de avaliação dos protótipos. Tanto o App *Manu* quanto a *Sala 360A* foram avaliados por professores da área educacional, permitindo analisar

aspectos relacionados à usabilidade, à aceitação da tecnologia e ao potencial pedagógico da proposta. Entretanto, crianças em processo de alfabetização, que constituem o público-alvo de futuras implementações da abordagem, não participaram das avaliações realizadas. Dessa forma, aspectos relacionados ao comportamento dos estudantes, ao engajamento durante o uso prolongado e à produção efetiva de amostras manuscritas permanecem como questões abertas para investigações futuras. A necessidade desse passo foi apontada por um dos participantes da *Sala 360A* (Participante 17), para quem há "necessidade de testar em crianças e verificar se não causa desconforto nelas antes de qualquer outra ação", o que dialoga com os relatos de tontura e enjôo registrados na avaliação.

Registra-se como limitação metodológica deste estudo a ausência de submissão formal do protocolo de pesquisa ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), tendo o processo de consentimento dos participantes se baseado na disponibilização prévia de informações sobre a pesquisa e na adesão voluntária ao preenchimento dos formulários. Da mesma forma, não foi originalmente coletado o perfil demográfico e profissional completo dos participantes das avaliações do App *Manu* e da *Sala 360A* (nesta última, foram coletadas apenas a experiência prévia com tecnologia digital e com realidade virtual). Recomenda-se que desdobramentos futuros desta investigação, sobretudo os que envolverem a participação direta de crianças, sejam submetidos previamente à avaliação do Sistema CEP.

Cabe assinalar que esta pesquisa não teve como objetivo avaliar resultados de aprendizagem. Embora os participantes tenham reconhecido potencial pedagógico nos protótipos desenvolvidos, não foram conduzidos estudos experimentais capazes de comparar a abordagem proposta com outras estratégias de alfabetização ou de medir seus efeitos sobre o desenvolvimento das habilidades de leitura e escrita. Assim, as conclusões apresentadas restringem-se às evidências obtidas a partir da interação dos participantes com os artefatos e às suas percepções quanto à usabilidade, à aceitação e ao potencial pedagógico das ferramentas no contexto educacional investigado.

Outra delimitação diz respeito às implementações desenvolvidas ao longo da pesquisa. O App *Manu* e a *Sala 360A* representam duas instâncias de aplicação da abordagem proposta, concebidas para investigar sua utilização em plataformas tecnológicas distintas. Os resultados obtidos demonstram a flexibilidade da proposta, mas não esgotam as possibilidades de implementação futura de um mecanismo colaborativo destinado à geração e ao enriquecimento de bases de dados para HTR cursivo.

Por fim, a natureza interdisciplinar desta pesquisa também impõe limites à abrangência das análises realizadas. A proposta aproxima áreas como alfabetização, tecnologias educacionais,

IHC, crowdsourcing e HTR. Em razão dessa amplitude, optou-se por concentrar a investigação na proposição da abordagem e na avaliação empírica dos artefatos desenvolvidos, considerando a interação de professores e educadores com essas ferramentas.

Ainda nesse sentido, cabe destacar a diferença de fidelidade entre os dois protótipos avaliados. Enquanto o App *Manu* foi avaliado como um protótipo navegável no Figma, sem lógica funcional real, a *Sala 360A* constitui uma implementação efetivamente funcional. Essa diferença implica que os resultados obtidos nos dois ciclos não são diretamente comparáveis entre si: a avaliação do App *Manu* captura principalmente a percepção de usabilidade da interface visual e do fluxo de navegação, enquanto a avaliação da *Sala 360A* incorpora também aspectos de desempenho técnico real, como a responsividade da interação por olhar e o conforto físico durante o uso. Assim, embora ambos os ciclos tenham fornecido evidências favoráveis quanto à interação dos participantes com os artefatos e às suas percepções sobre as ferramentas, essas evidências devem ser interpretadas à luz das diferenças entre os dois artefatos e das limitações metodológicas da pesquisa.

Essas delimitações não reduzem a relevância dos resultados apresentados. Pelo contrário, contribuem para situar adequadamente o alcance da pesquisa e evidenciam que esta dissertação representa um primeiro passo na investigação de uma abordagem que poderá ser ampliada e implementada em estudos posteriores, nos quais será possível avaliar empiricamente mecanismos colaborativos completos e sua contribuição efetiva para a geração de bases de dados destinadas ao HTR cursivo.

8.7 Perspectivas de evolução da abordagem

Os resultados obtidos nesta pesquisa indicam que a abordagem apresenta potencial para evoluir em diferentes direções, tanto sob a perspectiva educacional quanto sob a perspectiva computacional. Como discutido nas seções anteriores, esta dissertação concentrou-se na avaliação da interação de professores com as ferramentas propostas, não contemplando a implementação completa do mecanismo colaborativo nem a construção efetiva de uma base de dados destinada ao HTR. Dessa forma, diversas possibilidades de continuidade podem ser exploradas em trabalhos futuros.

Uma primeira direção consiste na implementação integral do fluxo de crowdsourcing previsto pela abordagem. Essa evolução deverá contemplar mecanismos para coleta automática das amostras produzidas pelos usuários, armazenamento estruturado dos dados, controle de qualidade, validação colaborativa e organização das informações em uma base destinada ao

treinamento e à avaliação de modelos de HTR. Somente após a implementação dessas etapas será possível investigar quantitativamente a qualidade, a diversidade e a representatividade das amostras produzidas pela abordagem.

Outra perspectiva importante refere-se à avaliação do impacto dessas amostras sobre sistemas de HTR. Estudos futuros poderão comparar modelos treinados exclusivamente com bases tradicionais e modelos enriquecidos por dados produzidos por meio da abordagem proposta, permitindo analisar possíveis contribuições para a capacidade de generalização dos algoritmos e para o reconhecimento de diferentes estilos de escrita.

Também será importante ampliar o processo de avaliação junto ao público-alvo da proposta. Nesta pesquisa, os protótipos foram avaliados por professores e educadores da área educacional, permitindo analisar aspectos relacionados à usabilidade, à aceitação da tecnologia, à experiência de interação e ao potencial pedagógico dos artefatos desenvolvidos. Entretanto, futuras investigações deverão envolver crianças em processo de alfabetização, possibilitando observar seu comportamento durante a utilização das atividades, seu nível de engajamento e a qualidade das amostras manuscritas produzidas em situações reais de uso.

Outra possibilidade de evolução consiste na ampliação das estratégias utilizadas para obtenção das amostras manuscritas cursivas. Nos protótipos desenvolvidos nesta dissertação, as atividades concentraram-se na leitura e transcrição de palavras. Entretanto, outras formas de interação podem ampliar tanto o potencial pedagógico quanto a diversidade dos dados produzidos.

Nesse contexto, a experiência adquirida com o desenvolvimento do App *Lili* oferece uma fonte de inspiração para novas possibilidades de interação. Embora *Lili* tenha sido desenvolvido para apoiar pessoas com dislexia na aprendizagem de idiomas e não tenha sido concebido para alfabetização ou para geração de bases de dados destinadas ao HTR, sua utilização de estímulos visuais, elementos de gamificação e atividades baseadas em imagens, evidencia estratégias capazes de promover o engajamento dos usuários em ambientes educacionais. Adaptando uma atividade baseada no reconhecimento de imagens do App *Lili* que exibe a imagem de um cachorro para que o usuário fale *dog* conforme exibido na Figura 25, a criança escreveria manualmente em letra cursiva a palavra cachorro.

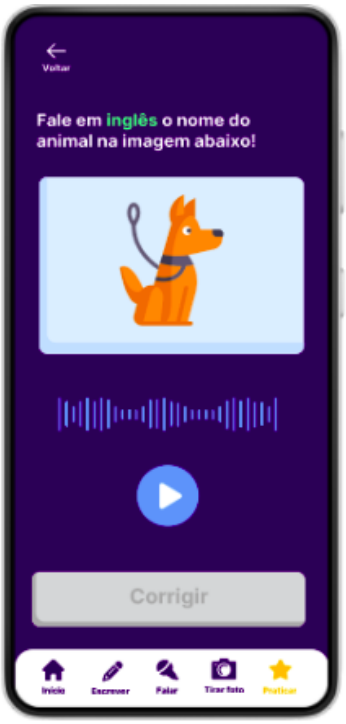


Figura 25: Tela do App *Lili*.

Fonte: Oliveira (2023) (Oliveira; Palhanos, 2023)

Inspirada nessa experiência, uma evolução natural da abordagem proposta consiste na substituição de atividades baseadas apenas na transcrição de palavras por tarefas nas quais a criança observe uma figura e escreva manualmente o nome do objeto representado. Diferentemente da transcrição via teclado utilizada em algumas abordagens inspiradas no reCAPTCHA, essa estratégia permitiria coletar diretamente novas amostras de escrita manuscrita cursiva produzidas durante atividades pedagógicas, ampliando a diversidade dos dados destinados ao HTR. Ressalta-se que essa funcionalidade não faz parte do App *Lili* nem foi implementada nesta pesquisa, sendo apresentada apenas como uma possibilidade de evolução da aabordagem investigada nesta dissertação.

Outra linha promissora consiste na incorporação de mecanismos inteligentes de validação das amostras produzidas. Estratégias que combinem validação colaborativa, análise automática de consistência e técnicas de inteligência artificial poderão contribuir para reduzir inconsistências, aumentar a confiabilidade das informações coletadas e melhorar a qualidade das bases produzidas ao longo do tempo.

Por fim, considera-se que a principal perspectiva de continuidade desta pesquisa consiste na consolidação da abordagem como interdisciplinar capaz de integrar alfabetização, tecnologias educacionais, crowdsourcing e HTR. À medida que novas implementações forem desenvolvidas

e avaliadas, será possível investigar em maior profundidade o potencial dessa integração para beneficiar simultaneamente o processo de alfabetização e o desenvolvimento de bases de dados destinadas ao treinamento de sistemas de HTR.

9 CONCLUSÃO

Esta seção encerra a presente dissertação, sintetizando as principais realizações e achados da pesquisa desenvolvida. A partir da articulação entre a investigação exploratória inicial, a consolidação teórica e a avaliação empírica dos artefatos desenvolvidos (App *Manu* e *Sala 360A*), analisam-se o cumprimento dos objetivos propostos e os resultados obtidos com a avaliação da interação de professores e educadores da Educação Básica com essas ferramentas. As seções a seguir resumem as contribuições científicas e tecnológicas do trabalho, explicitam sua principal limitação e apontam perspectivas e direcionamentos para investigações futuras.

9.1 Síntese das contribuições

Esta pesquisa buscou responder à seguinte questão: no contexto da alfabetização, como professores e educadores da Educação Básica percebem a interação com ferramentas de apoio ao HTR cursivo?

Os resultados obtidos ao longo desta investigação permitem responder à questão de pesquisa dentro dos limites estabelecidos pelo delineamento metodológico adotado. A avaliação conduzida com professores e educadores da Educação Básica, por meio do App *Manu* e da *Sala 360A*, forneceu evidências sobre a percepção, a usabilidade, a aceitação e o potencial pedagógico dessas ferramentas, bem como indícios sobre sua viabilidade para uma futura geração colaborativa de dados de HTR cursivo.

Para responder à questão de pesquisa, a investigação foi conduzida em quatro etapas complementares: um estudo exploratório sobre HTR, um levantamento da literatura, o desenvolvimento de dois artefatos (App *Manu* e *Sala 360A*) e a avaliação da interação de professores e educadores com esses artefatos. Em conjunto, essas etapas permitiram examinar, de forma progressiva, a usabilidade, a aceitação e o potencial pedagógico das ferramentas propostas.

A avaliação realizada com profissionais da educação indicou resultados positivos quanto à usabilidade, à aceitação e ao potencial pedagógico dos artefatos desenvolvidos. As análises

quantitativas evidenciaram elevada aceitação da proposta, enquanto as análises qualitativas permitiram identificar aspectos positivos relacionados à compreensão das atividades e ao potencial de aplicação das ferramentas, bem como limitações técnicas que orientam seu aperfeiçoamento.

Sob a perspectiva científica, esta pesquisa contribui ao aproximar áreas tradicionalmente investigadas de forma independente, integrando conceitos de alfabetização, crowdsourcing, RV, IHC e HTR. Ao investigar a percepção de professores e educadores quanto à interação com ferramentas inspiradas na lógica colaborativa do reCAPTCHA, a dissertação reúne evidências de usabilidade e aceitação que situam essas ferramentas como um caminho pedagogicamente viável dentro do contexto da alfabetização.

Em síntese, os resultados obtidos estabelecem fundamentos para futuras pesquisas que articulem educação, inteligência coletiva e HTR cursivo.

9.2 Limitações

Embora os resultados obtidos tenham sido promissores, esta pesquisa apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação de seus resultados.

A principal limitação diz respeito ao público participante da avaliação. Os experimentos envolveram professores e educadores da Educação Básica, escolhidos por sua capacidade de analisar a proposta sob a perspectiva pedagógica e de usabilidade. Dessa forma, os resultados obtidos não podem ser generalizados para crianças em processo de alfabetização, público final para o qual as ferramentas foram concebidas. A ausência de avaliação direta com esse público-alvo constitui uma limitação relevante, uma vez que aspectos como engajamento, compreensão das atividades e usabilidade sob a perspectiva infantil só poderão ser confirmados em estudos futuros conduzidos diretamente com crianças.

A caracterização das participantes da avaliação do App *Manu* foi limitada, uma vez que as informações sobre gênero e atuação profissional foram obtidas verbalmente, sem registro sistemático em instrumento de coleta. Essa limitação restringe a descrição do grupo de avaliadoras e deve ser considerada na interpretação dos resultados.

Adicionalmente, a própria avaliação da interação revelou limitações técnicas relacionadas aos artefatos desenvolvidos, especialmente no artefato imersivo: foram relatadas dificuldades de foco visual, desconforto durante a navegação e episódios de cinetose por parte de alguns participantes. Esses achados, obtidos diretamente da avaliação da interação com a *Sala 360A*, indicam pontos concretos de refinamento da interface e da experiência de uso, e reforçam que a

maturidade da interação (não apenas sua aceitação geral) é um aspecto que ainda precisa evoluir antes de uma aplicação em maior escala.

Por fim, os artefatos desenvolvidos representam implementações experimentais destinadas à investigação da interação de professores e educadores com esse tipo de ferramenta. Assim, sua finalidade principal não consiste em oferecer uma solução educacional pronta para utilização em larga escala, mas fornecer evidências sobre a viabilidade da abordagem apresentada nesta dissertação.

9.3 Perspectivas futuras

Os resultados desta pesquisa evidenciam diversas possibilidades para a evolução da proposta.

Uma primeira e principal perspectiva consiste na avaliação das ferramentas em contexto real de aplicação, envolvendo diretamente crianças em processo de alfabetização, ou seja, o público-alvo para o qual o App *Manu* e a *Sala 360A* foram concebidos. Essa etapa permitirá investigar a interação durante atividades pedagógicas autênticas, analisando aspectos relacionados ao engajamento, à aprendizagem e à usabilidade sob a perspectiva infantil.

Outra perspectiva relevante refere-se ao refinamento técnico do artefato imersivo, de modo a mitigar as dificuldades de foco visual e os episódios de cinetose identificados na avaliação da *Sala 360A*, aprimorando a experiência de interação antes de sua aplicação em estudos futuros com crianças.

Uma terceira direção de pesquisa refere-se ao potencial das ferramentas para, futuramente, subsidiar o enriquecimento colaborativo de bases de dados destinadas ao HTR cursivo. Uma possibilidade nesse sentido é o desenvolvimento de um mecanismo contínuo de retroalimentação da base de dados, inspirado conceitualmente no App Lili, mencionado anteriormente: as produções manuscritas cursivas geradas por crianças passariam a integrar a base de dados do sistema e poderiam, posteriormente, ser utilizadas em novas atividades de transcrição realizadas por outras crianças, seguindo a lógica colaborativa inspirada no reCAPTCHA. Dessa forma, o próprio uso contínuo da aplicação (já validado nesta pesquisa junto a professores e educadores) poderia, em trabalhos futuros, contribuir para o crescimento, a validação e o refinamento progressivo de uma base de dados destinada ao HTR cursivo.

Nessa mesma direção, trabalhos futuros poderão implementar de fato o mecanismo colaborativo, hoje apenas simulado nesta dissertação, permitindo analisar a confiabilidade das transcrições, a convergência entre múltiplos participantes, a escalabilidade da proposta e a qua-

lidade das informações produzidas. Também se mostra relevante, nessa etapa futura, ampliar a diversidade de palavras, estilos de escrita e perfis de participantes, possibilitando a construção de bases de dados mais representativas da variabilidade encontrada na escrita manuscrita cursiva.

Finalmente, uma perspectiva particularmente promissora consiste na integração de algoritmos de aprendizado de máquina aos dados que viessem a ser produzidos por esse mecanismo. Além de contribuir para o treinamento de modelos de HTR, esses algoritmos poderiam analisar padrões de escrita, recorrência de erros e indicadores associados ao desenvolvimento da alfabetização, fornecendo subsídios para o acompanhamento da evolução dos estudantes e auxiliando educadores na triagem e no diagnóstico pedagógico precoce de transtornos específicos de aprendizagem, como a dislexia, sempre como ferramenta de apoio ao processo educacional, e não como substituição da avaliação realizada por profissionais especializados.

Como perspectiva de continuidade, poderá ser investigada a utilização de técnicas de Inteligência Artificial Generativa em conjunto com mecanismos colaborativos de coleta e organização de dados manuscritos. Essa possibilidade não foi objeto de avaliação experimental nesta pesquisa e permanece como perspectiva para trabalhos futuros.

Assim, esta dissertação demonstra que é possível avaliar positivamente, junto a professores e educadores, ferramentas que articulam crowdsourcing, alfabetização e tecnologias imersivas. Mais do que os protótipos desenvolvidos, a principal contribuição deste trabalho reside na avaliação da interação, da usabilidade e da aceitação dessas ferramentas: um resultado que abre caminho para que trabalhos futuros, validados diretamente com crianças, explorem seu potencial para o enriquecimento colaborativo de bases de dados destinadas ao HTR cursivo.

REFERÊNCIAS

A-FRAME DEVELOPERS. **A-Frame: A web framework for building virtual reality experiences**. [*S. l.*], 2024. Versão 1.6.0. Acesso em: 2026. Disponível em: https://aframe.io/.

A-FRAME DEVELOPERS. **A-Frame: A web framework for building virtual reality experiences**. [*S. l.*], 2025. Documentação oficial. Disponível em: https://aframe.io/docs/.

AHN, Luis von; MAURER, Benjamin; MCMILLEN, Colin; ABRAHAM, David; BLUM, Manuel. reCAPTCHA: Human-based character recognition via Web security measures. **Science**, v. 321, n. 5895, p. 1465–1468, 2008. DOI: 10.1126/science.1160379.

ALAM, Shahin; ISLAM, Md. Rafiqul; RAHMAN, Md. Arafat; HOSSAIN, Md. Akter. A Large Multi-Target Dataset of Common Bengali Handwritten Graphemes. *In:* 16TH IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). Lausanne, Switzerland: [*s. n.*], 2021. v. 12824, p. 383–398.

ALKENDI, Wissam; GECHTER, Franck; HEYBERGER, Laurent; GUYEUX, Christophe. Advancements and Challenges in Handwritten Text Recognition. **Journal of Imaging**, v. 10, n. 1, p. 18, 2024. DOI: 10.3390/jimaging10010018.

BALAHA, Hossam Magdy; ALI, Hesham Arafat; BADAWY, Mahmoud. Automatic recognition of handwritten Arabic characters: a comprehensive review. **Neural Computing & Applications**, v. 33, p. 3011–3034, 2021.

BORGES, É. P. K.; KOLTERMANN, G.; MOITA MINERVINO, C. A. S.; FUMAGALLI DE SALLES, J. The Role of Emergent Literacy Assessment in Brazilian Portuguese Literacy Acquisition during COVID-19. **Behavioral Sciences**, v. 13, n. 6, p. 510, 2023. DOI: 10.3390/bs13060510.

BRADSKI, Gary. The OpenCV Library. **Dr. Dobb's Journal of Software Tools**, v. 25, n. 11, p. 120–123, 2000.

BRAUN, Virginia; CLARKE, Victoria. Using thematic analysis in psychology. **Qualitative research in psychology**, Taylor & Francis, v. 3, n. 2, p. 77–101, 2006.

BROOKE, John. SUS: A 'Quick and Dirty' Usability Scale. *In:* USABILITY Evaluation in Industry. London: Taylor & Francis, 1996. p. 189–194.

CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE. **Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012**. [*S. l.: s. n.*], 2012. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 12, p. 59, 13 jun. 2013.

CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE. **Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016**. [*S. l.: s. n.*], 2016. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 98, p. 44-46, 24 maio 2016.

COSTA, Otávio Barduzzi Rodrigues da. Alfabetização, letramento e engajamento rural na educação no Brasil. **Revista Científica FESA**, v. 3, n. 2, p. 59–75, 2023. DOI: 10.56069/2676-0428.2023.243.

CRESWELL, John W.; CLARK, Vicki L. Plano. **Pesquisa de métodos mistos**. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

CRONBACH, Lee J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrika**, v. 16, n. 3, p. 297–334, 1951.

CROSILLA, Giorgia; KLIC, Lukas; COLAVIZZA, Giovanni. Benchmarking large language models for handwritten text recognition. **Journal of Documentation**, Emerald Publishing Limited, v. 81, n. 7, p. 334–354, 2025.

DAVIS, Fred D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. **MIS Quarterly**, v. 13, n. 3, p. 319–340, 1989. DOI: 10.2307/249008.

EHRI, Linnea C. Orthographic mapping in the acquisition of sight word reading, spelling memory, and vocabulary learning. **Scientific Studies of Reading**, v. 18, n. 1, p. 5–21, 2014.

EHRI, Linnea C. Phases of development in learning to read words by sight. **Journal of Research in Reading**, v. 18, n. 2, p. 116–125, 1995.

FRITH, U. Beneath the surface of developmental dyslexia. *In:* PATTERSON, Karalyn E.; MARSHALL, John C.; COLTHEART, Max (ed.). **Surface Dyslexia: Neuropsychological and Cognitive Studies of Phonological Reading**. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1985. p. 301–330.

GARRIDO-MUÑOZ, Carlos; CALVO-ZARAGOZA, Jorge. **On the Generalization of Handwritten Text Recognition Models**. [*S. l.: s. n.*], 2024. arXiv: 2411.17332 [cs.LG]. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2411.17332.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMEZ, Kasun; SILVA, Keshani; PERERA, Indika; FERNANDO, Shantha. Intelligent Digitalization of the Sinhala Form Templates. *In:* 2021 IEEE Region 10 Conference (TENCON). Auckland, New Zealand: [*s. n.*], 2021. p. 527–532.

GOOGLE. **Cloud Vision API: Optical Character Recognition (OCR)**. [*S. l.: s. n.*]. https://cloud.google.com/vision/docs/ocr. Acesso em: 7 set. 2026.

GRAVES, A.; LIWICKI, M.; FERNÁNDEZ, S.; BERTOLAMI, R.; BUNKE, H.; SCHMIDHUBER, J. A novel connectionist temporal classification scale for offline handwriting recognition. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 31, n. 5, p. 855–868, 2009. DOI: 10.1109/TPAMI.2008.137.

GREWE, MH; GIE, L. Can virtual reality have a positive influence on student engagement? **South African Journal of Higher Education**, Higher Education South Africa (HESA), v. 37, n. 5, p. 124–141, 2023.

HAMILTON, D.; MCKECHNIE, J.; EDGERTON, E.; WILSON, C. Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: a systematic review. **Computers & Education**, v. 173, p. 104278, 2021. DOI: 10.1016/j.compedu.2021.104278.

HATTIE, John; TIMPERLEY, Helen. The Power of Feedback. **Review of Educational Research**, v. 77, n. 1, p. 81–112, 2007. DOI: 10.3102/003465430298487.

HEVNER, Alan R.; MARCH, Salvatore T.; PARK, Jinsoo; RAM, Sudha. Design science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004.

HOWE, J. The rise of crowdsourcing. **Wired Magazine**, v. 14, n. 6, p. 1–4, 2006.

ISLAM, Kazi Samiul; ROY, Gourab; NAHID, Nafiz; RIPTI, Sunjida Yeasmin; JUBAYER, Md. Fahad. ADOCRNet: A Deep Learning OCR for Arabic Documents Recognition. **IEEE Access**, v. 12, p. 55620–55631, 2024.

JAIDEDAI. **EasyOCR: Ready-to-use OCR with 80+ supported languages**. [*S. l.: s. n.*], 2020. https://github.com/JaidedAI/EasyOCR. Acesso em: 7 set. 2026.

KIESSLING, Benjamin. Kraken-a universal text recognizer for the humanities. *In:* DIGITAL Humanities 2019. [*S. l.: s. n.*], 2019.

LAW, Edith; AHN, Luis von. **Human Computation**. [*S. l.*]: Morgan & Claypool Publishers, 2011. (Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning). DOI: 10.2200/S00370ED1V01Y201107AIM013.

LI, Minghao; LV, Tengchao; CHEN, Jingye; CUI, Lei; LU, Yijuan; FLORENCIO, Dinei; ZHANG, Cha; LI, Zhoujun; WEI, Furu. Trocr: Transformer-based optical character

recognition with pre-trained models. *In:* 11. PROCEEDINGS of the AAAI conference on artificial intelligence. [*S. l.: s. n.*], 2023. v. 37, p. 13094–13102.

LI, Yuting; CHEN, Dexiong; TANG, Tinglong; SHEN, Xi. HTR-VT: Handwritten text recognition with vision transformer. **Pattern Recognition**, Elsevier, v. 158, p. 110967, 2025.

LI, Yuting; CHEN, Dexiong; TANG, Tinglong; SHEN, Xi. HTR-VT: Handwritten text recognition with vision transformer. **Pattern Recognition**, Elsevier, v. 158, p. 110967, 2025.

MAKRANSKY, G.; MAYER, Richard E. Benefits of taking a virtual field trip in immersive virtual reality: Evidence for the immersion principle in multimedia learning. **Educational Psychology Review**, Springer, v. 34, n. 3, p. 1771–1798, 2022.

MOHER, David; LIBERATI, Alessandro; TETZLAFF, Jennifer; ALTMAN, Douglas G.; GROUP, PRISMA. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **Annals of Internal Medicine**, v. 151, p. 264–269, 2009.

NEUMANN, Michelle M. Young children's use of touch screen tablets for writing and reading at home: Relationships with emergent literacy. **Computers & Education**, Elsevier, v. 97, p. 61–68, 2016.

NEUMANN, Michelle M. An examination of touch screen tablets and apps in supporting early literacy development. **Early Childhood Education Journal**, v. 42, n. 4, p. 231–239, 2014. DOI: 10.1007/s10643-013-0608-4.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

OLIVEIRA, R.; PALHANOS, L. Lili: Um aplicativo de Aprendizagem e Aperfeiçoamento de Idiomas com Imersão para Pessoas com Dislexia. *In:* ANAIS Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC 2023). Porto Alegre, RS, Brasil: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2023. p. 1–4. DOI: 10.5753/ihc_estendido.2023.233798.

PALHANOS, L.; SALAS, J. Recognition and Identification of Spelling Errors of Handwritten Words in Images. Artigo submetido ao Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (WebMedia 2022). [*S. l.*], 2022.

PALHANOS, L.; VITERBO, J.; CONCI, A. MANU: A collaborative application to support early literacy. *In:* INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION AND NEW LEARNING TECHNOLOGIES (EDULEARN26 PROCEEDINGS). Palma: IATED, 2026. p. 1770. DOI: 10.21125/edulearn.2026.1770.

PALHANOS, L.; VITERBO, J.; CONCI, A. SALA 360A – A formative evaluation of an accessible immersive learning environment for early literacy. *In:* INTERNATIONAL

CONFERENCE ON EDUCATION AND NEW LEARNING TECHNOLOGIES (EDULEARN26 PROCEEDINGS). Palma: IATED, 2026. p. 2491. DOI: 10.21125/edulearn.2026.2491.

PEFFERS, Ken; TUUNANEN, Tuure; ROTHENBERGER, Marcus A.; CHATTERJEE, Samir. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007.

PETTICREW, Mark; ROBERTS, Helen. **Systematic Reviews in the Social Sciences: A Practical Guide**. Hoboken: Wiley, 2008.

PLAMONDON, R.; SRIHARI, S. N. Online and off-line handwriting recognition: A comprehensive survey. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 22, n. 1, p. 63–84, 2000. DOI: 10.1109/34.824821.

PLASS, J. L.; HOMER, B. D.; KINZER, C. K. Foundations of game-based learning. **Educational Psychologist**, v. 50, n. 4, p. 258–283, 2015. DOI: 10.1080/00461520.2015.1122533.

QUINN, Alexander J.; BEDERSON, Benjamin B. Human computation: A survey and taxonomy of a growing field. *In:* PROCEEDINGS of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2011). [*S. l.: s. n.*], 2011. p. 1403–1412. DOI: 10.1145/1978942.1979148.

RADIANTI, Jessica; MAJCHRZAK, Tim A.; FROMM, Jennifer; WOHLGENANNT, Isabell. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, zones of involvement, and assessment. **Computers & Education**, v. 147, p. 103778, 2020. DOI: 10.1016/j.compedu.2019.103778.

RAUSCHENBERGER, M.; BAEZA-YATES, R.; RELLO, L. Screening risk of dyslexia through a web-game using language-independent content and machine learning, p. 1–12, 2020.

RUFINI, Sueli Édi; BZUNECK, José Aloyseo; OLIVEIRA, Katya Luciane de. A qualidade da motivação em estudantes do ensino fundamental. **Paidéia (Ribeirão Preto)**, SciELO Brasil, v. 22, p. 53–62, 2012.

SAEED, M.; CHAN, A.; MIJAR, A.; MOUKARZEL, J.; HABCHI, G.; YOUNES, C.; ELIAS, A.; WONG, Chau-W.; KHATER, A. Muharaf: Manuscripts of Handwritten Arabic Dataset for Cursive Text Recognition. **Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2024 Track on Datasets and Benchmarks)**, v. 37, p. 58525–58538, 2024.

SALLES, J F de; ROSA PICCOLO, L. da; ZORTEA, M. (ed.). **Neuropsicologia Cognitiva**. [*S. l.*]: Vetor Editora, 2025.

SCLIAR-CABRAL, L. **Princípios do sistema alfabético do português do Brasil**. São Paulo: Contexto, 2003. ISBN 978-85-7244-223-5.

SHUTE, Valerie J. Focus on Formative Feedback. **Review of Educational Research**, v. 78, n. 1, p. 153–189, 2008. DOI: 10.3102/0034654307313795.

SMITH, Ray. An overview of the Tesseract OCR engine. *In:* NINTH International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007). [*S. l.: s. n.*], 2007. v. 2, p. 629–633. DOI: 10.1109/ICDAR.2007.4376991.

STANOVICH, K. E. Matthew effects in reading: Some consequences of individual differences in the acquisition of literacy. **Reading Research Quarterly**, v. 21, n. 4, p. 360–407, 1986.

STEFANOVIĆ, Darko; HAVZI, Sara; NIKOLIĆ, Danilo; DAKIĆ, Dusanka; LOLIĆ, Teodora. Analysis of the tools to support systematic literature review in software engineering. *In:* IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. [*S. l.*]: IOP Publishing, 2021. v. 1163.

SUGGATE, Sebastian P.; KARLE, Viktoria L.; KIPFELSBERGER, Tanja; STOEGER, Heidrun. The effect of fine motor skills, handwriting, and typing on reading development. **Journal of Experimental Child Psychology**, v. 232, p. 105674, 2023. DOI: 10.1016/j.jecp.2023.105674.

SUROWIECKI, James. **The Wisdom of Crowds: Why the Many Are Smarter Than the Few and How Collective Wisdom Shapes Business, Economies, Societies and Nations**. New York: Doubleday, 2004.

SWELLER, John. Cognitive load during problem solving: Effects on learning. **Cognitive Science**, v. 12, n. 2, p. 257–285, 1988. DOI: 10.1207/s15516709cog1202_4.

VAN DER WEEL, F. R.; VAN DER MEER, A. L. H. Handwriting but not typewriting leads to widespread brain connectivity: A high-density EEG study with implications for the classroom. **Frontiers in Psychology**, v. 14, p. 1219945, 2024. DOI: 10.3389/fpsyg.2023.1219945.

APÊNDICE A – ARTIGOS EXCLUÍDOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA

A.1 Artigos excluídos da base Web of Science

Tabela 10: Artigos excluídos da base *Web of Science* por critério de elegibilidade.

Autor(es) e Ano	**Critério de Exclusão**
Balaha et al. (2021)	Relevância parcial (não focava diretamente em palavras cursivas ou OCR).
Jawad et al. (2020)	Relevância parcial (não focava diretamente em palavras cursivas ou OCR).
Morillot et al. (2013)	Relevância parcial (não focava diretamente em palavras cursivas ou OCR).
Zafar et al. (2022)	Relevância parcial (não focava diretamente em palavras cursivas ou OCR).
Singh et al. (2023)	Relevância parcial (não focava diretamente em palavras cursivas ou OCR).
Rahal et al. (2021)	Restrições de acesso (não disponível para leitura integral).
Balaha et al. (2021b)	Restrições de acesso (não disponível para leitura integral).
Fu et al. (2024)	Restrições de acesso (não disponível para leitura integral).
Sasipriyaa et al. (2021)	Restrições de acesso (não disponível para leitura integral).
Patil et al. (2022)	Restrições de acesso (não disponível para leitura integral).
Sharma et al. (2022)	Restrições de acesso (não disponível para leitura integral).
Deepthi et al. (2022)	Restrições de acesso (não disponível para leitura integral).
Shah e Joshi (2021)	Restrições de acesso (não disponível para leitura integral).
Suganthi et al. (2023)	Restrições de acesso (não disponível para leitura integral).
Rasheed et al. (2022)	Restrições de acesso (não disponível para leitura integral).
Misgar et al. (2023)	Relevância parcial (não focava diretamente em palavras cursivas ou OCR).
Khan et al. (2020)	Restrições de acesso (não disponível para leitura integral).
Shen et al. (2023)	Restrições de acesso (não disponível para leitura integral).
Khan et al. (2024)	Restrições de acesso (não disponível para leitura integral).
Mahadevkar et al. (2024)	Restrições de acesso (não disponível para leitura integral).

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

A.2 Artigos Excluídos da Base IEEE Xplore Digital Library

Tabela 11: Artigos excluídos da base *IEEE Xplore Digital Library* por critério de elegibilidade.

Autor(es) e Ano	**Critério de Exclusão**
Gomez et al. (2021)	Relevância parcial (não focava diretamente em palavras cursivas ou OCR) e desatualização temporal (dados de 2012).
Panwar e Nain (2012a)	Desatualização temporal (publicado há mais de 10 anos).
Panwar e Nain (2012b)	Relevância parcial (não focava diretamente em palavras cursivas ou OCR) e desatualização temporal (publicado há mais de 10 anos).

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

APÊNDICE B – PESQUISA DE USABILIDADE SOBRE O APP *MANU* (SUS)

Este apêndice apresenta o instrumento de coleta de dados utilizado na avaliação de usabilidade do App *Manu*.

O questionário foi desenvolvido na plataforma Google Forms e aplicado aos professores participantes do estudo. O instrumento foi estruturado a partir da escala padronizada *System Usability Scale* (SUS), contemplando dez afirmações sobre facilidade de uso, complexidade percebida, integração das funcionalidades e confiança na utilização da interface.

As respostas foram coletadas em escala Likert de cinco pontos (variando de "Discordo Totalmente"a "Concordo Totalmente"), permitindo o cálculo do score padronizado de usabilidade e a análise quantitativa da experiência de uso do protótipo bidimensional.

Pesquisa de Usabilidade - Manu: aplicativo colaborativo para apoio à alfabetização

Prezado(a) Professor(a),

Estou conduzindo uma pesquisa para avaliar a usabilidade de um aplicativo, o Manu, desenvolvido para ajudar crianças em fase de alfabetização (capazes de ler) a escrever de forma lúdica, interativa e segura via smartphone.

Nesta fase inicial, é essencial a colaboração de educadores para avaliar o funcionamento, a proposta pedagógica e a usabilidade do aplicativo antes de disponibilizá-lo para as crianças.

Sua opinião é fundamental para que seja possível aperfeiçoar o aplicativo com base em experiências reais de sala de aula e nas percepções de quem conhece de perto as necessidades educacionais dos alunos.

O questionário a seguir contém 2 perguntas abertas sobre os pontos positivos e negativos + 10 afirmações e levará cerca de 5 a 10 minutos para ser preenchido. Não há respostas certas ou erradas; estou interessada na sua opinião sincera sobre a facilidade de uso do aplicativo.

As respostas são anônimas e serão usadas exclusivamente para melhorar o aplicativo, garantindo que ele atenda às necessidades das crianças da melhor forma possível.

Se em algum momento você se sentir desconfortável, pode interromper o questionário sem qualquer problema.

Agradeço imensamente sua participação!

Atenciosamente,

Luciana Palhanos

* Indica uma pergunta obrigatória

Como responder

Esta seção é composta somente por 2 perguntas: por favor, responda com suas palavras.

1. Quais foram os pontos positivos do aplicativo? *

2. Quais foram os pontos negativos do aplicativo? *

Como responder

Para cada uma das afirmações a seguir, por favor, indique seu nível de concordância utilizando a escala de 1 a 5, onde:

1 = Discordo Fortemente
2 = Discordo
3 = Neutro
4 = Concordo
5 = Concordo Fortemente

3. 1. Eu acho que uma criança usaria este aplicativo frequentemente por diversão. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5
◯	◯	◯	◯	◯

4. 2. Eu achei o aplicativo desnecessariamente complicado para uma criança utilizar. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5
◯	◯	◯	◯	◯

5. 3. Achei o aplicativo fácil de usar para uma criança treinar a escrita via smartphone. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5
◯	◯	◯	◯	◯

6. 4. A criança precisaria da ajuda de um(a) professor(a) para conseguir utilizar este aplicativo. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5
◯	◯	◯	◯	◯

7. 5. As funcionalidades do aplicativo estão bem integradas e são fáceis de acessar rapidamente. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5
◯	◯	◯	◯	◯

8. 6. Achei que havia muita inconsistência na interface do aplicativo para uma criança. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5
◯	◯	◯	◯	◯

9. 7. Eu imagino que a maioria das crianças aprenderia a utilizar este aplicativo rapidamente. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5
◯	◯	◯	◯	◯

10. 8. Achei o aplicativo muito difícil de usar sem explicação prévia para um criança. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5
◯	◯	◯	◯	◯

11. 9. Eu acho que uma criança se sentiria confiante ao utilizar o aplicativo para treinar a escrita via smartphone. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5
◯	◯	◯	◯	◯

12. 10. Eu acho que uma criança precisaria aprender muitas coisas antes de poder usar o aplicativo de forma eficaz. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5
◯	◯	◯	◯	◯

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

APÊNDICE C – TRANSCRIÇÃO DA ENTREVISTA SOBRE O APP *MANU*

Este apêndice reproduz a transcrição automática, gerada a partir da gravação em áudio, da entrevista individual aplicada a um docente participante do teste do App *Manu*, com o objetivo de aprofundar as percepções registradas no SUS. O roteiro seguido é composto por perguntas abertas que investigam a experiência do usuário, a facilidade de interação, a clareza das instruções, o potencial pedagógico da ferramenta no apoio à alfabetização e sugestões de melhorias. A transcrição não foi revisada e pode conter erros de reconhecimento de fala e de identificação dos falantes, e não contém dados que identifiquem o participante.

[00:00]
Olá. Eh, essa é entrevista de usabilidade do aplicativo Manu. A primeira parte dela é o aceite de participação.

[00:10]
Então, esta pesquisa faz parte do meu trabalho de mestrado no programa de pós-graduação em computação da Universidade Federal Fluminense, UFF, e eu estou buscando saber um pouquinho mais sobre a percepção de professores educadores a respeito de Manu, um aplicativo colaborativo de apoio à alfabetização. As informações obtidas por meio desta pesquisa são confidenciais e asseguro o sigilo sobre sua participação.

[00:40]
Os dados obtidos serão anonimizados e não permitirão a sua identificação. Além disso, a qualquer momento você pode interromper a pesquisa sem ônus algum e o meu contato estará aberto para qualquer dúvida posterior que você tiver. Gostaria do seu aceite para prosseguir com a sua participação e desde já agradeço pelas suas respostas.

[01:05]
Sim, aceito.

[01:08]
Vamos lá para a primeira pergunta. Então, esse aqui é o momento que eu vou fazer perguntas sobre o app, a abertura, né, da nossa entrevista. Como foi a sua experiência geral ao testar o aplicativo?

[01:27]
Ela foi boa, eu achei até fácil, né? Eh, não foi difícil entender os comandos e o que eu tinha que fazer a partir das orientações que apareceram.

[01:41]
OK. Foi fácil entender o objetivo da atividade proposta no aplicativo?

[01:48]
Sim, foi. Foi fácil, sim. Eh, era era era fácil entender que eh eu teria que fazer uma escrever uma palavra, né, e e obter um resultado positivo ou negativo conforme eu escrevesse.

[02:06]
OK. Eh, agora a gente vai falar sobre, né, ah, teu o teu ponto de vista ah de adulto, tá? Adulto que testou o aplicativo. Eh, o aplicativo pareceu intuitivo para você? A navegação, os botões, os comandos estavam claros?

[02:27]
Sim, estavam sim. Imagino que para o adulto já é fácil, para a criança muito mais, mas é para o adulto tava tava fácil, sim. Era fácil entender que o o próximo passo que deveria ser feito, havia uma orientação, né, a a sinalização para a gente seguir, foi fácil.

[02:44]
OK. Houve algum momento em que você ficou em dúvida sobre o que fazer?

[02:50]
Não, acredito que não. Acho que foi tranquilo.

[02:54]
OK. Bom, agora a gente vai, eh, falar do ponto de vista pedagógico, tá?

[03:03]
Na sua opinião, as instruções, os estímulos e as recompensas, a coruja Manu conversando com a criança, a mão com dedo indicador apontando o caminho a ser seguido, a estrela contente com acerto e triste com erro, o ranking, estão adequados para crianças nesse nível de alfabetização?

[03:26]
Ah, estão sim. Eh, eu tenho a experiência de trabalhar com criança e eles se sentem muito estimulados quando o jogo ou o aplicativo oferece uma recompensa, oferece um estímulo para que eles concluam a tarefa que tá sendo proposta.

[03:43]
OK. O nível de dificuldade das palavras apresentadas para a eh pareceu apropriado para essa faixa etária?

[03:53]
Sim, essa faixa etária ela tem um momento, né, mais para um mais mediano durante o ano letivo, que eles têm, eh, eles conhecem algumas, eh, palavras que têm uma grafia diferenciada ou um som diferenciado. E sim, foi.

[04:10]
OK. Agora vamos falar do potencial pedagógico. Você acha que o aplicativo pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de leitura e decodificação de palavras manuscritas cursivas?

[04:26]
Sim, acredito que sim, porque a criança, quando ela brinca, ela internaliza o que ela tá aprendendo, né? E aí ao mesmo tempo que se você vem apresentando esse conteúdo e usa esse jogo como uma finalização daquela aprendizagem, a criança reconhece e e ela se identifica o que tá sendo proposto.

[04:48]
OK. Quais habilidades específicas da alfabetização você acha que o aplicativo trabalha? Consciência fonológica, reconhecimento de palavras, leitura e escrita cursiva, ou qualquer outra que você ache?

[05:05]
Eu acredito que tenha o reconhecimento de palavras e e a consciência fonológica. Assim, seria as coisas que eu nesse momento eh identificaria.

[05:16]
OK. Agora chegou a parte das sugestões e melhorias. Há alguma funcionalidade que você acha que está faltando?

[05:28]
Aí, pensando assim a princípio, acredito que não. Eu acho que ele tá bem simples, bem intuitivo, a criança se sente brincando. Eu acredito que ele ele nesse momento ele ele tá adequado.

[05:44]
OK. Você indicaria esse aplicativo para outros professores?

[05:49]
Sim, claro, indicaria sim.

[05:51]
Porque eu acredito que quando a gente trabalha com o lúdico, as crianças aprendem melhor. Então, assim, quanto mais oportunidade a gente tem de oferecer o conteúdo que a gente tá apresentando de uma forma lúdica, eles eles mais rápido reconhecem e aprendem.

[06:08]
OK. Você sugere alguma melhoria antes de aplicar com as crianças?

[06:16]
Uma melhoria antes de aplicar?

[06:18]

Isso.

[06:19]
Não, não sugiro não. Eu acredito que que está adequado.

[06:25]
OK. Gostaria de acrescentar mais algum comentário ou sugestão?

[06:32]
Ah, acho que seria legal que ele ficasse viabilizado de maneira gratuita para que as professor os professores tenham acesso e possam usar com seus alunos. As a gente se a gente compara o ensino de antigamente com o ensino de hoje, as crianças têm as crianças tendo mais oportunidade de ter acesso a essas ferramentas, a aprendizagem é muito melhor, é mais consciente, é mais concreta.

[06:59]
OK, é isso. Obrigada.

[07:01]
De nada.

APÊNDICE D – REGISTRO VISUAL DA *SALA 360A*

Este apêndice apresenta registros visuais complementares da *Sala 360A*, desenvolvida como evolução do aplicativo *Manu*. As imagens documentam diferentes perspectivas do ambiente, seus elementos de composição e os recursos de interação implementados. Esses registros complementam a descrição apresentada no Capítulo 7 e têm como finalidade preservar, na dissertação, a documentação visual do artefato desenvolvido.

Na parede oposta à lousa conforme exibido na Figura 26, foi inserida uma porta em madeira escura, conferindo ao ambiente uma sensação de fechamento espacial semelhante à de uma sala física. À esquerda da porta, encontra-se um interruptor de luz e, logo ao lado dele, um jogo educativo interativo, cuja finalidade é complementar as atividades de alfabetização com práticas lúdicas adicionais.



Figura 26: Parede oposta à lousa.

Fonte: Palhanos (2026) (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026b)

À direita da porta foi projetada uma parede de escalada, trazendo um elemento típico de

brinquedotecas e espaços recreativos, voltado a estimular a curiosidade visual e a associação do ambiente virtual com contextos de diversão. Após a conclusão da atividade de transcrição, os participantes eram convidados a explorar outras áreas da sala. Entre essas áreas encontrava-se a parede de escalada, que permitia uma forma adicional de interação espacial baseada no olhar. Se optasse pela parede de escalada exibida na Figura 27, o participante deveria fixar o olhar sobre as pegadas para ser deslocado até a área correspondente.



Figura 27: Parede com parede de escalada.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

Em seguida, olhando para as mãos posicionadas na parede de escalada conforme exibido na Figura 28, o participante poderia ativar o comando correspondente e deslocar-se para uma posição mais elevada (Figura 29).

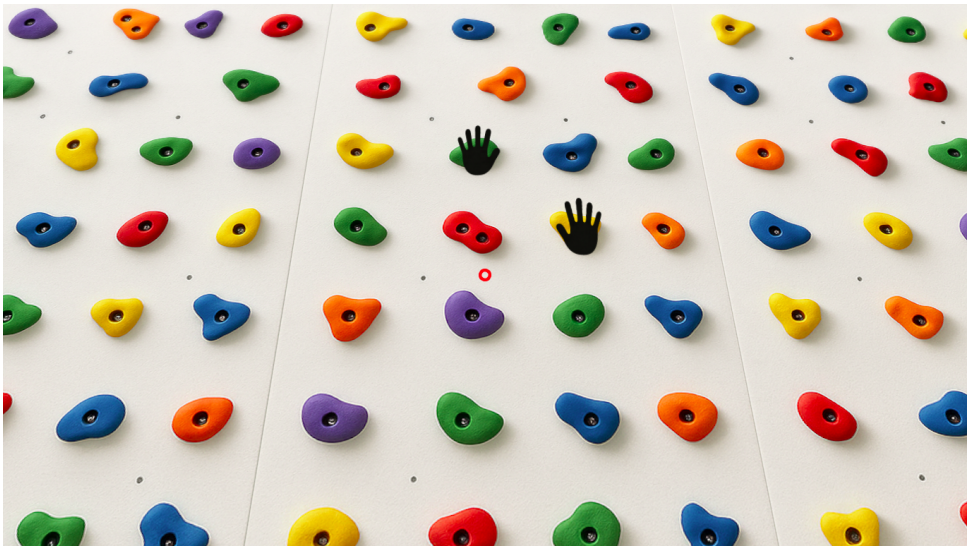


Figura 28: Parede de escalada.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.



Figura 29: Vista de cima para o tatame.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

Durante essa simulação, o participante era instruído a observar o ambiente ao redor conforme exibido na Figura 30 e, ao final, olhar para as pegadas abaixo, retornando novamente ao piso conforme exibido na Figura 29.



Figura 30: Vista de cima da sala.

Fonte: Palhanos (2026) (Palhanos; Viterbo; Conci, 2026b)

Ainda sobre o tatame colorido conforme exibido na Figura 31, que simula as peças de EVA comuns em brinquedotecas físicas, foi disposto um quebra-cabeça com a figura da coruja, mascote do aplicativo *Manu*. Essa escolha reforça a identidade visual do projeto e cria uma continuidade entre os diferentes recursos tecnológicos desenvolvidos ao longo da pesquisa, além de funcionar como estímulo visual adicional para as crianças.

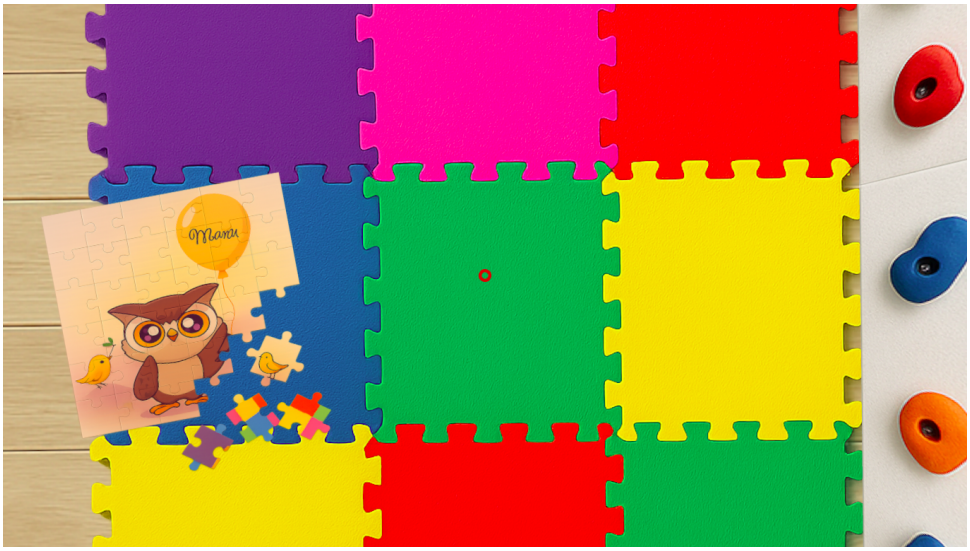


Figura 31: Quebra-cabeça sobre tatame de EVA colorido.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

Na parede de frente para a parede de escalada conforme exibido na Figura 32, encontra-se

uma janela, planejada para ampliar a sensação de iluminação natural e abertura do espaço. À direita da janela, foi implementado um jogo-da-velha, recurso interativo adicional que promove engajamento, pensamento lógico e raciocínio estratégico.

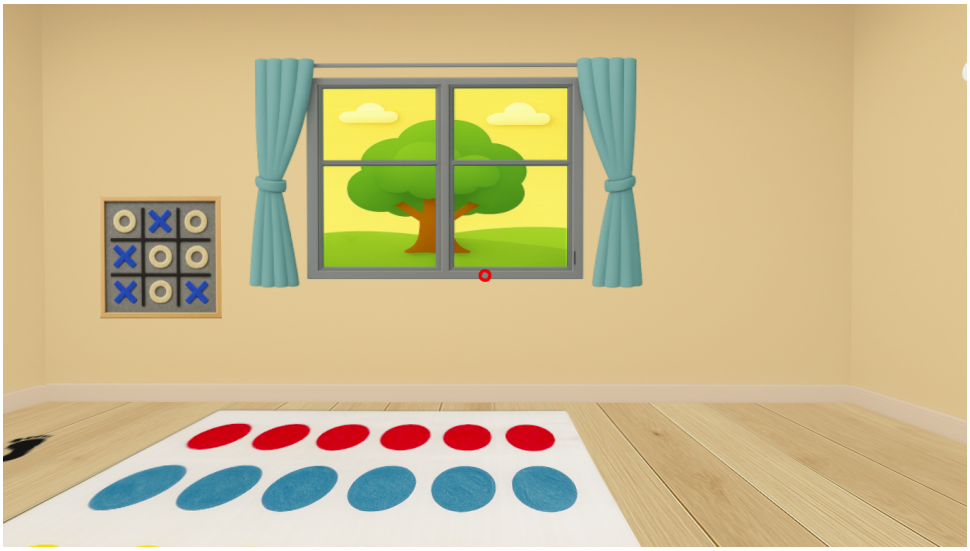


Figura 32: Vista para janela.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

Posteriormente, o participante poderia deslocar-se até a área dos jogos conforme exibido nas Figuras 33 e 34.



Figura 33: Paredes com jogos.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

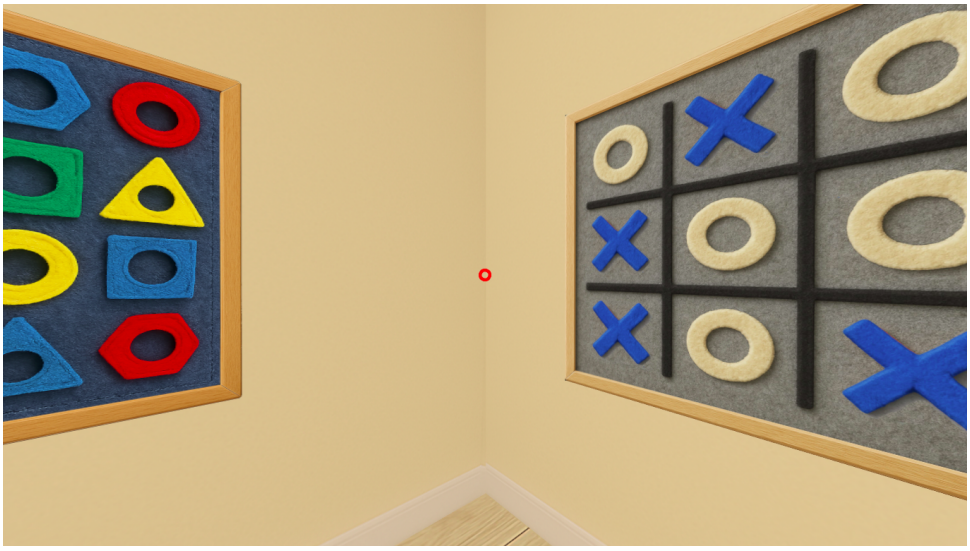


Figura 34: Canto com jogos.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

No piso, logo em frente à janela, encontra-se o jogo Twister conforme exibido na Figura 35, clássico da recreação infantil, inserido no ambiente como estratégia de gamificação e como metáfora visual para a integração entre movimento, ludicidade e aprendizagem.



Figura 35: Jogo Twister.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

Caso tivesse iniciado o percurso por esse ponto, o participante poderia realizar o movimento inverso, dirigindo-se em direção à parede de escalada conforme exibido na Figura 36.



Figura 36: Parede de frente para a de escala.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

Por fim, o teto da sala foi finalizado com uma luminária em formato de sol conforme exibido na Figura 37, elemento que acrescenta ludicidade ao ambiente e contribui para a atmosfera de acolhimento e alegria. Assim como os demais objetos, a luminária foi concebida não apenas como um detalhe estético, mas como recurso simbólico capaz de transmitir a ideia de luz, energia e vitalidade associada ao processo de aprendizagem.

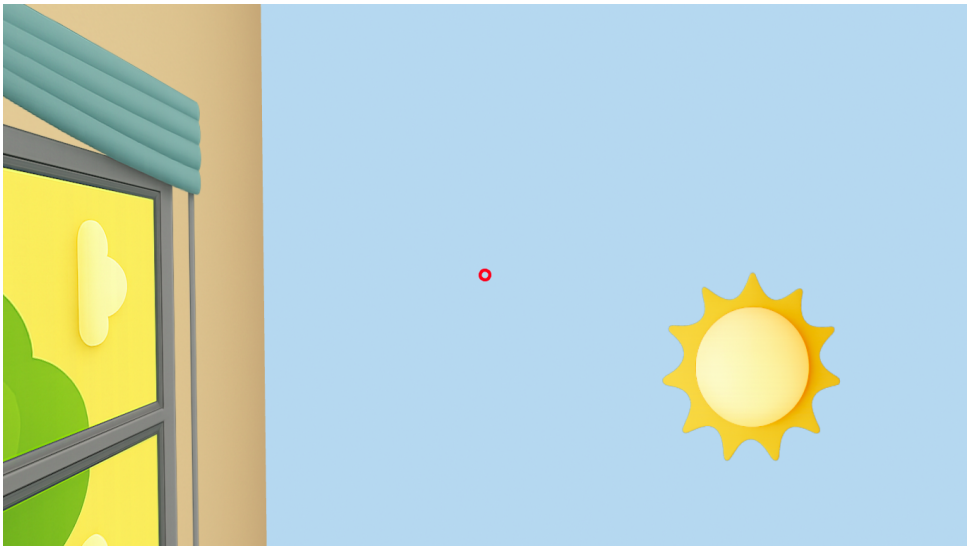


Figura 37: Teto da sala com luminária em formato de sol.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), via IA.

Cada um dos objetos inseridos na *Sala 360A* cumpre uma função pedagógica ou simbólica

dentro do contexto de alfabetização. Enquanto a lousa e o teclado constituem os elementos centrais para a prática de leitura e transcrição de palavras manuscritas cursivas, os demais recursos, como jogos, bandeirolas, parede de escalada e quebra-cabeça, ampliam a atratividade da experiência e reforçam a motivação infantil. Essa combinação entre realismo, ludicidade e tecnologia cria um ambiente que, além de acolhedor, é funcional e estrategicamente orientado ao apoio às atividades de alfabetização.

APÊNDICE E – PESQUISA DE USABILIDADE SOBRE A *SALA 360A* (TAM)

Este apêndice apresenta o instrumento de coleta de dados utilizado na avaliação da *Sala 360A*.

O questionário foi desenvolvido na plataforma Google Forms e aplicado aos professores participantes após a experiência imersiva. O instrumento foi fundamentado no *Technology Acceptance Model* (TAM), contemplando aspectos como a facilidade de uso, a clareza da interação por olhar (gaze interaction) e o conforto durante a navegação em VR.

As respostas foram estruturadas a partir de dez afirmações formuladas exclusivamente com polaridade positiva e avaliadas em escala Likert de cinco pontos, subsidiando a análise estatística descritiva e a avaliação da aceitação do ambiente tridimensional.

Pesquisa de Usabilidade – Sala 360A

Prezado(a) Professor(a) / Responsável,

Estou conduzindo uma pesquisa para avaliar a usabilidade de uma sala 360° em A-Frame, a Sala 360A, desenvolvida para ajudar crianças em fase de alfabetização (capazes de ler) a escrever de forma lúdica, interativa e segura.

Nesta fase inicial, é essencial a colaboração de educadores para avaliar o funcionamento, a proposta pedagógica e a usabilidade da Sala 360A antes de disponibilizá-la para as crianças.

Sua opinião é fundamental para que seja possível aperfeiçoar a Sala 360A com base em experiências reais de sala de aula e nas percepções de quem conhece de perto as necessidades educacionais dos alunos.

O questionário a seguir contém 2 perguntas sobre você + 5 perguntas abertas sobre sua opinião + 10 afirmações e levará cerca de 10 a 15 minutos para ser preenchido. Não há respostas certas ou erradas; estou interessada na sua opinião sincera sobre a facilidade de uso da Sala 360A .

As respostas são anônimas e serão usadas exclusivamente para melhorar a Sala 360A garantindo que ela atenda às necessidades das crianças da melhor forma possível.

Se em algum momento você se sentir desconfortável, pode interromper o questionário sem qualquer problema.

Agradeço imensamente sua participação!

Atenciosamente,

Luciana Palhanos

* Indica uma pergunta obrigatória

Como responder

Esta seção é composta somente por 2 perguntas: por favor, marque somente 1 resposta.

1. Qual é a sua experiência prévia com tecnologia digital? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Nenhuma
- ◯ Básica
- ◯ Intermediária
- ◯ Avançada

2. Qual é a sua experiência prévia com realidade virtual: *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Nunca usei.
- ◯ Usei poucas vezes.
- ◯ Uso com frequência.

Como responder

Esta seção é composta somente por 5 perguntas: por favor, responda com suas palavras.

3. O que você mais gostou na Sala 360A ? *

4. O que você menos gostou? *

5. Houve alguma dificuldade em transitar pela Sala 360A ou usar a lousa? *

6. Quais melhorias você sugeriria para tornar a Sala 360A mais adequada ao trabalho de alfabetização? *

7. Você acredita que a proposta colaborativa (inspirada no reCAPTCHA, com as crianças ajudando na transcrição) pode contribuir para a aprendizagem? Por quê? *

Como responder

Para cada uma das afirmações a seguir, por favor, indique seu nível de concordância utilizando a escala de 1 a 5, onde:

1 = Discordo Fortemente
2 = Discordo
3 = Neutro
4 = Concordo
5 = Concordo Fortemente

8. Achei fácil aprender a utilizar a Sala 360A. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5
◯	◯	◯	◯	◯

9. As instruções eram claras e suficientes para a interação. *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5
◯	◯	◯	◯	◯

10. As funções da Sala 360A (teclado virtual, transcrição, navegação por gaze, etc.) estavam bem integradas. *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

11. Senti-me confiante ao utilizar a Sala 360A. *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

12. A navegação foi intuitiva e sem dificuldades. *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

13. O design e a disposição dos elementos (lousa, teclado, pegadas, etc.) facilitaram o uso. *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

14. A experiência de uso foi agradável. *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

15. Acredito que a Sala 360A pode ser útil para apoiar a alfabetização de crianças. *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

16. Usaria novamente a Sala 360A em atividades de ensino. *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

17. Recomendo o uso da Sala 360A para outros alfabetizadores. *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

APÊNDICE F – TRANSCRIÇÃO DA ENTREVISTA SOBRE A *SALA 360A*

Este apêndice reproduz a transcrição automática, gerada a partir da gravação em áudio, da entrevista individual aplicada a um docente participante do teste da *Sala 360A*, com o objetivo de aprofundar as percepções registradas no questionário baseado no TAM.

O roteiro seguido é composto por perguntas abertas, organizadas em blocos, que investigam o contexto e o perfil do participante, as primeiras impressões, a facilidade de uso e de navegação, a experiência de interação, os pontos positivos e os pontos de melhoria do ambiente e, do ponto de vista pedagógico, o potencial da ferramenta no apoio à alfabetização.

A transcrição não foi revisada e pode conter erros de reconhecimento de fala e de identificação dos falantes, e não contém dados que identifiquem o participante.

[00:00]
Olá, a gente vai fazer, né, a entrevista de usabilidade da sala 360A.

[00:08]
Então, esta pesquisa faz parte do meu trabalho de mestrado no programa de pós-graduação e computação na Universidade Federal Fluminense, UFF, e eu estou buscando saber um pouquinho mais sobre a percepção de professores e educadores a respeito da sala 360A, um ambiente virtual imersivo em 360 graus de apoio à alfabetização.

[00:32]
As informações obtidas por meio desta pesquisa são confidenciais e asseguram o sigilo sobre sua participação. Os dados obtidos serão anonimizados e não permitirão a sua identificação. Além disso, a qualquer momento, você pode interromper a pesquisa sem ônus algum e o meu contato estará aberto para qualquer dúvida posterior que você tiver. Gostaria do seu aceite para prosseguir com a sua participação e desde já agradeço pelas suas respostas.

[01:02]
Sim, aceito. Ok, vamos lá para as perguntas. É, a primeira parte é sobre o ponto de vista do alfabeto do alfabetizador, ok? É, então vamos lá para o contexto e o perfil. Você já teve contato com ambientes virtuais ou realidade virtual antes? Não, nunca tive, foi a primeira vez.

[01:28]
Qual a sua experiência Tévia com tecnologias digitais aplicadas à alfabetização. Então, é, um pouco que eu conheço são assim alguns alguns sites que oferecem, né, um trabalho com os alunos de soletração, é, reconhecimento de de figura com palavra, mas nada como o essa experiência é virtual.

[01:58]
Ok. Vamos Vamos lá para as primeiras impressões, tá? O que você achou da experiência geral de usar a sala 360A? Eu achei muito boa, né? Ela oferece um ambiente de divertido e a gente fica curioso, que é que explorar o ambiente um pouco mais. Então acaba sendo até a mesma as respostas vão acho que vão servir para essa próxima pergunta, mas você pode complementar, tá?

[02:27]
Quais foram suas primeiras impressões ao entrar na sala 360. As primeiras impressões é que o ambiente era um ambiente muito colorido, muito divertido, muito claro. Eh, oferecia eh vários objetos que chamam a atenção, pensando, né, como uma criança veria chamar a atenção, mas também chama a atenção do adulto. OK. Tá.

[02:53]
Vamos agora para parte que a gente vai falar eh da facilidade. Só um minutinho.

[03:06]
Eh, Então, facilidade de uso e navegação. Como você descreveria a sua familiaridade com a navegação por gays? Olhar para interagir, né? Que é o que significa gays. E o teclado virtual? Bom, eu nunca tinha tido uma experiência anterior.

[03:30]
É, os primeiros momentos assim pareciam ser difíceis, mas conforme é, a, ia sendo usado, né? Essa, essa forma de, de movimentação, vou chamar assim, eu fui entendendo melhor e aí eu tive um, um, um, um controle maior das minhas, é, da minha, deslocamentos dentro da sala. Ok. Teve dificuldade em entender como interagir com a lousa, as palavras e o teclado?

[03:59]

Não, não não tive, isso foi fácil. Tá, então no caso em que momento a situação você não É, não houve nenhum momento que eu achei que fosse difícil. OK. Os elementos da sala 360 A, lousa, palavra, teclado, recompensas visuais estavam posicionados de forma lógica intuitiva? Sim, para mim estavam.

[04:24]
Era algo que de que que uma uma uma coisa é é, suce, é, antecedia ou sucedia outra, para mim tava claro. Ok. Em algum momento você se sentiu perdido, perdida ou confuso, confusa? Assim quando?

[04:45]
Acho que só tive um pouco de dificuldade quando em determinado momento eu subia e aí parecia que não ia ser fácil descer, mas era só lembrar de usar o gay's, né? Então é, aí eu entendi que eu tinha Estou lhe sobre a minha subida e descida no no ambiente da da sala. OK. Vamos falar agora, então, mais especificamente da experiência de de interação.

[05:14]
Você achou natural o movimento dentro do ambiente?

[05:21]
Então, assim, é pensando que é um um uma movimentação eh que ela é um não é uma movimentação natural, eu não me movimentei com o meu corpo para andar dentro da sala? Não, mas eu entendo que naquele ambiente era o que poderia ser feito. Então, assim, para o ambiente, Eu acho que foi normal. OK.

[05:46]
Teve algum desconforto como tontura, dificuldade de foco, lentidão? Não, não, não tive. Eh, fui tranquilo. OK. Em sua opinião, o ambiente favorece o engajamento e colaboração das crianças? Por quê? Com certeza. Eh, eu tenho, assim, pela minha experiência, eles vão gostar muito de experimentar o ambiente, né?

[06:11]
Eh, eles vão querer explorar todas as coisas e eles com certeza vão, é, fazer a tarefa proposta, é, com muita vontade de realizar, entendeu? OK. Vamos lá. Pontos positivos. O que você mais gostou na experiência? O que eu mais gostei na experiência, eu acho que é que é o uso do óculos.

[06:37]
Isso traz um um uma ideia realmente de que você está em outro lugar, não no lugar que você tá, é, naquele momento, ou, é, parado, fazendo o uso do, do, vou chamar de aparelho, né? Essa experiência de você estar dentro de um ambiente através do óculos é é muito interessante. OK.

[07:03]
Houve algum recurso que chamou mais sua atenção de forma positiva? Eu acho que a a ideia da movimentação através do gay, eu nunca imaginei que bastava usar o gay e eu conseguiria me deslocar dentro da sala. Para mim isso não era possível, só seria possível se eu me mexesse fora da sala, né, fisicamente falando, ou no ambiente que eu tava e não no ambiente virtual.

[07:28]
Eu não sabia que a gente podia fazer essa movimentação sem precisar se deslocar fisicamente. OK. Pontos de melhoria, o que você menos gostou ou achou problemático? Eu vou dizer que, nem tudo estava acessível, né? Várias coisas ali estavam compondo a sala, mas não eram para ser utilizadas.

[07:54]
Eu acho que assim, pensando que é um ambiente lúdico também, isso seria algo que seria mais interessante, né? Pensando no universo das crianças. Como o que?

[08:11]

É, poder por exemplo brincar com o jogo que tava no chão, eu sei que a gente escalou a parede, mas por exemplo, tinha um vários brinquedos ali, vamos chamar de brinquedos e assim, aquilo ali causa um pouquinho de frustração quando eles não conseguem utilizar, eles ficam: "Ah, isso aqui, eu já sei mais ou menos o que eles falariam: "Ah, isso aqui não tá funcionando, isso aqui não serve, eu queria brincar com esse".

[08:41]
OK. Há alguma funcionalidade que você gostaria que fosse acrescentada? A princípio não. Eu acho assim que, como eu sou uma pessoa que não teve uma experiência anterior, eu não tenho um parâmetro para dizer: "Ah, eu eu adicionaria isso". Eu acho que para mim tá suficiente. OK. Então, agora do ponto de vista pedagógico, vou fazer umas perguntas.

[09:05]
Você acredita que a sala 360A pode ajudar na assimilação da leitura de palavras eh é manuscrito ex-cursivos pelas crianças? Eu acho que sim, porque Por quê porque naquele ambiente ali, eles vão achar que estão brincando. E na verdade eles estão praticando. Então assim, é é é uma forma mais natural dentro do universo deles, do universo do brincar. Então tudo que leva para o universo do brincar é para eles é mais natural.

[09:34]
E eles ficam eles ficam tranquilos, eles querem desenvolver a tarefa, eles gostam de repetir. Eu acredito que vai ser muito muito útil. OK. Considera que a experiência virtual pode complementar práticas tradicionais de alfabetização? Se sim, né? De que forma? Sim, eu acredito que sim.

[09:56]
Eu acho que toda vez que a gente entra com com um um assunto novo, um tópico novo, tem momentos que não é possível fazer isso, que a gente realmente precisa eh de de explicar e e isso aí para eles, embora não seja seria o concreto, né? Seria o momento que eles fariam o uso mostrando como eles como eles conseguem fazer. Acho que é isso que eu quero dizer. E para ele seria o concreto. Acho que seria muito muito útil, sim.

[10:26]
OK. Você vê potencial para identificar dificuldades específicas das crianças, como dislexia, confusão de letras, a partir das transcrições feitas na sala 360A? Eu acredito que é possível sim. Porque a criança que vai ter uma certa dificuldade, que ela já tem algo, é, isso vai aparecer ali também.

[10:49]
Então você vai conseguir, é, que ele demonstre mostre a dificuldade que ele tem ao fazer o uso do da atividade. OK. O ambiente pode estimular motivação, engajamento das crianças em comparação com atividades em papel? Sim, com certeza. Sempre que houver um um uma atividade que lembre um jogo, eles vão com certeza se engajar muito mais.

[11:18]
A gente sabe que crianças tem essa preferência, então assim, com certeza vale. OK. Que ajustes pedagógicos você sugeriria para que a sala 360A seja mais eficaz em um contexto real de sala de aula? Eu acredito que é o colocar mais objetos que possam ser utilizados como brincadeira ali, né?

[11:46]
De repente, até outras outros outras coisas além que não fique só no quadro, possa ser um um jogo no chão, que eles vão brincar com as palavras. Eu acredito que outras outras coisas ali que possam eh fazer ao mesmo tempo uma brincadeira, também possam ser um exercício, um uma prática. OK.

[12:11]
Em sua opinião, a experiência favorece o desenvolvimento da memória visual e ortográfica das palavras manuscritas cursivas? Sim, eu acredito que sim. Eu

acho que a criança vai muito vai, com certeza, lembrar muito mais da palavra que ela viu ali naquele ambiente virtual, do que talvez uma palavra que ele copiou, que ele eh tracejou, eu acho que para ele vai ficar mais mais marcante. Hum, OK.

[12:40]
Você utilizaria esse tipo de recurso, no caso, a sala 360A como complemento de suas práticas de alfabetização? Sim, com certeza, sem dúvida alguma. OK, é isso. Obrigada.

APÊNDICE G – RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS ABERTAS SOBRE O APP *MANU*

Este apêndice apresenta as respostas às perguntas abertas do questionário de avaliação de usabilidade do App *Manu*, complementares aos dados quantitativos do SUS apresentados na Seção 7.2.

O questionário solicitava aos participantes que indicassem, em texto livre, os pontos positivos e os pontos negativos observados durante a interação com o protótipo. As respostas são reproduzidas de forma anônima, identificadas apenas por números (Participante 1 a Participante 5), e serviram de base para a categorização temática apresentada na Tabela 12, bem como para os trechos ilustrativos citados ao longo da Seção 7.2.

Tabela 12: Respostas dos participantes sobre os pontos positivos e negativos do App *Manu*.

Nº	**Pontos positivos**	**Pontos negativos**
1	A escrita baseada em um modelo e a gameficação.	A tela, dependendo da tela do smartphone não se vê a barra embaixo.
2	É intuitivo e de fácil manuseamento.	Eu não consegui digitar as palavras, ao clicar na letra iniciar o app já me dava uma resposta. Inclusive colocou uma errada. E funcionou apenas até o número 3.
3	Aplicativo explicativo, atraente e colorido	Letras diferentes
4	Ele tem um bom layout e é intuitivo.	Nenhum pois não deu muito para usa lo.
5	O aplicativo é colorido e relativamente fácil de usar	Apresenta alguns bugs 1. Na entrada precisei clicar 3 vezes em entrar para passar para a próxima tela 2. O sistema apresenta a resposta do desafio apenas clicando no teclado 3. O sistema não valida a letra pressionada antes de dar a resposta o que faz o app perder o objetivo

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

APÊNDICE H – PERFIL E RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS ABERTAS SOBRE A *SALA 360A*

Este apêndice apresenta as respostas às perguntas abertas do questionário de avaliação da *Sala 360A*, complementares aos dados quantitativos do TAM apresentados na Seção 7.3.

Além de duas perguntas sobre a experiência prévia com tecnologia digital e com realidade virtual, o questionário solicitava aos participantes que respondessem, em texto livre, a cinco perguntas abertas: o que mais e o que menos gostaram na *Sala 360A*, se houve dificuldade para transitar pela sala ou usar a lousa, quais melhorias sugeririam e se acreditavam que a proposta colaborativa, inspirada no reCAPTCHA, poderia contribuir para a aprendizagem. As respostas são reproduzidas na íntegra e de forma anônima, identificadas apenas por números (Participante 1 a Participante 20), e serviram de base, juntamente com a entrevista, para a análise dos temas discutidos na Seção 7.3.

Tabela 13: Perfil e Respostas dos participantes às perguntas abertas sobre a *Sala 360A*.

Nº	**Experiência com tecnologia digital**	**Experiência com realidade virtual**	**O que mais gostou na Sala 360A**	**O que menos gostou**	**Dificuldades de interação**	**Sugestões de melhoria**	**Contribuição para a aprendizagem**
1	Intermediária	Usei poucas vezes.	O que mais gostei na Sala 360A foi a imersão proporcionada e a possibilidade de realizar atividades diferenciadas, que envolvem até a exploração de diferentes sentidos.	O que menos gostei foi que digitar foi um pouco difícil, e poderia ser trabalhoso caso cometesse algum erro para corrigir. Ainda assim, no geral, a experiência foi bastante positiva.	Sim, percebi que digitar exigia um pouco mais de esforço, mas nada que comprometesse ou impedisse o uso da sala.	Sugiro que as letras sejam apresentadas de forma mais espaçada, em tamanho maior e com recursos visuais mais atrativos, para facilitar a leitura e tornar a experiência mais envolvente para as crianças em processo de alfabetização.	Sim, acredito que pode contribuir. A proposta pode ajudar como um treino, já que as crianças praticam leitura, escrita e atenção de forma ativa.

Tabela 13 (continuação)

Nº	Experiência com tecnologia digital	Experiência com realidade virtual	O que mais gostou na Sala 360A	O que menos gostou	Dificuldades de interação	Sugestões de melhoria	Contribuição para a aprendizagem
2	Intermediária	Usei poucas vezes.	Ficar na altura, a sensação de estar realmente ali.	O meu próprio medo da altura, mas tudo foi um amor.	Tudo tranquilo e bem explicado.	Colocar para movimentar o jogo pedagógico de formas.	Sim, claro! Traz curiosidade e interesse, facilitando a aprendizagem enquanto eles se divertem.
3	Avançada	Uso com frequência.	Da escalada.	Da escalada rs.	Sem dificuldades, eu gostei bastante das atividades.	Sim.	Sim.
4	Intermediária	Nunca usei.	O ambiente da sala.	A ausência de mais objetos de interação.	Não, a partir das orientações foi fácil.	A inserção de som lendo a palavra e soletrando.	Sim, as experiências lúdicas são mais significativas para as crianças.

Tabela 13 (continuação)

Nº	Experiência com tecnologia digital	Experiência com realidade virtual	O que mais gostou na Sala 360A	O que menos gostou	Dificuldades de interação	Sugestões de melhoria	Contribuição para a aprendizagem
5	Básica	Usei poucas vezes.	Achei a experiência interessante e imersiva. A sala estava bem organizada e visualmente agradável, o que ajuda a criar um ambiente acolhedor e estimulante para as crianças.	A imagem ficou um pouco embaçada em alguns momentos, o que acabou me deixando um pouco tonta e com enjôo. (Embora eu já imaginasse que isso pudesse acontecer comigo porque usando essas óculos outras vezes também senti enjôo e tontura).	De modo geral, a locomoção foi relativamente tranquila, mas houve pequenos momentos de dificuldade quando a imagem desfocava. Também tive um pouco de dificuldade para selecionar as letras, embora tenha conseguido ao final.	Sugiro melhorar a nitidez da imagem e a precisão na seleção dos elementos interativos, para facilitar o uso por crianças.	Sim, acredito que pode contribuir bastante. A proposta estimula a participação ativa das crianças, promove a atenção aos detalhes e pode tornar o processo de alfabetização mais dinâmico e envolvente.

Tabela 13 (continuação)

Nº	Experiência com tecnologia digital	Experiência com realidade virtual	O que mais gostou na Sala 360A	O que menos gostou	Dificuldades de interação	Sugestões de melhoria	Contribuição para a aprendizagem
6	Intermediária	Uso com frequência.	As atividades.	Gostei de tudo interativo.	Somente facilidades.	Acredito q as crianças saberão utilizar.	Pq hoje em dia esse é o universo q vivem e deve a digitalização estar inserida no contexto educacional.
7	Básica	Nunca usei.	Ser com celular.	Problemas com foco.	Não, só demorava um pouco.	Ter acompanhamento e instruções com som.	Sim, principalmente no engajamento usando tecnologia.

Tabela 13 (continuação)

Nº	Experiência com tecnologia digital	Experiência com realidade virtual	O que mais gostou na Sala 360A	O que menos gostou	Dificuldades de interação	Sugestões de melhoria	Contribuição para a aprendizagem
8	Intermediária	Usei poucas vezes.	O que eu mais gostei é ter a possibilidade de expandir a sala de aula zom outras atividades que chamem atenção das crianças. Assim, elas podem continuar brincando e aprendendo.	Infelizmente não deu pata testar todos os jogos.	Não, nenhuma.	Nenhuma.	Sim, hoje dentro de sala meu grande inimigo é o celular. Então ter a possibilidade de juntar esse instrumento, que é quase uma extensão do nosso corpo, com jogos educativos que expandem as possibilidades de aprendizado, contribui bastante.
9	Avançada	Usei poucas vezes.	A diagramação.	O desconforto.	Não.	Arrumar o foco.	Sim porque eles visualizam e aprendem melhor.

Tabela 13 (continuação)

Nº	Experiência com tecnologia digital	Experiência com realidade virtual	O que mais gostou na Sala 360A	O que menos gostou	Dificuldades de interação	Sugestões de melhoria	Contribuição para a aprendizagem
10	Avançada	Usei poucas vezes.	É muito responsiva e intuitiva.	Ainda não tem muitas atividades.	Não.	Incrementar as atividades presentes.	Acredito que possa contribuir por conta do fator inclusão, pois permite a alunos com certas condições ou deficiências.
11	Intermediária	Usei poucas vezes.	A interatividade, aprendizagem ativa e colaborativa.	A experiência foi ótima.	Não.	Eu gostei muito.	Sim. Porque a proposta é voltada totalmente para aprendizagem ativa e significativa.

Tabela 13 (continuação)

Nº	Experiência com tecnologia digital	Experiência com realidade virtual	O que mais gostou na Sala 360A	O que menos gostou	Dificuldades de interação	Sugestões de melhoria	Contribuição para a aprendizagem
12	Básica	Usei poucas vezes.	O que mais gostei na Sala 360A foi a forma interativa e envolvente como o ambiente estimula a escrita e a criatividade das crianças.	Alguns comandos poderiam ser mais intuitivos. Em certos momentos, senti falta de orientações visuais mais claras para guiar o usuário dentro do ambiente.	Sugiro incluir mais orientações visuais para facilitar o uso pelas crianças em fase inicial de alfabetização. Também seria interessante adicionar atividades que estimulem a leitura e a escrita de forma gradual, com feedback positivo e desafios progressivos.	Sim, acredito que a proposta colaborativa pode contribuir bastante para a aprendizagem, pois envolve as crianças ativamente no processo. Ao participar da transcrição, elas praticam a leitura e a escrita de forma significativa, percebendo a utilidade do que estão aprendendo e desenvolvendo atenção, autonomia.	—

Tabela 13 (continuação)

Nº	Experiência com tecnologia digital	Experiência com realidade virtual	O que mais gostou na Sala 360A	O que menos gostou	Dificuldades de interação	Sugestões de melhoria	Contribuição para a aprendizagem
13	Básica	Nunca usei.	Escalar a parede.	A lousa.	A lousa achei um pouco difícil.	A clicar na letra, está mudar de cor.	Sim, porque a visão da criança é essencial.
14	Básica	Usei poucas vezes.	A experiência.	Nada.	Não.	Nada a sugerir.	Sim. Porque todos os meios que atuem se forma positiva no cognitivo, são válidos.
15	Básica	Nunca usei.	Gostei de tudo. Achei muito legal me teletransportar para uma sala de aula.	Sinceramente, nada.	Não.	Eu achei as atividades propostas bem interessantes.	Com certeza! É essencial a inovação para termos uma aprendizagem significativa. Partindo do princípio que as crianças aprendemos de formas diferentes e cada uma no seu tempo, apresentar propostas inovadoras é essencial.

Tabela 13 (continuação)

Nº	Experiência com tecnologia digital	Experiência com realidade virtual	O que mais gostou na Sala 360A	O que menos gostou	Dificuldades de interação	Sugestões de melhoria	Contribuição para a aprendizagem
16	Intermediária	Usei poucas vezes.	Sim, achei muito interessante.	Demorou um pouco para focar.	Nenhuma. Adorei.	Focar de forma mais rápida.	Sim, acho que por ser algo tecnológico as crianças focaram de forma mais eficaz e rápida.
17	Básica	Usei poucas vezes.	Do ambiente virtual – é diferente para quem não está acostumado.	Da sensação de tontura.	Precisaria transitar num tempo maior para responder com exatidão.	Há necessidade de testar em crianças e verificar se não causa desconforto nelas antes de qualquer outra ação.	Inspirada no CAPTCHA como? Há como exemplificar a pergunta?
18	Intermediária	Usei poucas vezes.	Interessante, algo novo pra mim.	Acho que imagem não é totalmente focada.	Nao.	Maior interatividade com todos os elementos da sala.	Sim, pq acho que a educação deve ser algo criativo e mexer com o imaginário.
19	Básica	Nunca usei.	A decoração pedagógica.	Nada.	Em usar a lousa.	Achei perfeito.	Sim. Estimula o raciocínio.

Tabela 13 (continuação)

Nº	Experiência com tecnologia digital	Experiência com realidade virtual	O que mais gostou na Sala 360A	O que menos gostou	Dificuldades de interação	Sugestões de melhoria	Contribuição para a aprendizagem
20	Intermediária	Usei poucas vezes.	Espaço para interações.	Gostei de tudo.	Nao. . .	Jogos interativos.	Sim.

Fonte: Elaborada pela autora (2026).