

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA COM ENFÂSE EM COMPUTAÇÃO

GREGHORY DO AMARAL
LETÍCIA MENDONÇA CARRARO
PAULO DE TARSO PARENTI FILHO

UM JOGO PARA AUXILIAR O APRENDIZADO DE MATEMÁTICA PARA
DEFICIENTES VISUAIS

SÃO PAULO
2024

GREGHORY DO AMARAL
LETÍCIA MENDONÇA CARRARO
PAULO DE TARSO PARENTI FILHO

UM JOGO PARA AUXILIAR O APRENDIZADO DE MATEMÁTICA PARA
DEFICIENTES VISUAIS

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado ao Departamento de Engenharia
Elétrica e de Computação da Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo como
parte dos requisitos para a graduação.

Orientador: Profa. Dra. Anarosa Alves Franco Brandão

SÃO PAULO

2024

GREGHORY DO AMARAL
LETÍCIA MENDONÇA CARRARO
PAULO DE TARSO PARENTI FILHO

UM JOGO PARA AUXILIAR O APRENDIZADO DE MATEMÁTICA PARA
DEFICIENTES VISUAIS

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado ao Departamento de Engenharia
Elétrica e de Computação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como
parte dos requisitos para a graduação.

Aprovado em ___ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a Anarosa Alves Franco Brandão
Orientadora (Poli-USP)

Dr. Felipe Valência de Almeida
Avaliador (Poli-Usp)

Dr. Pedro Luiz Pizzigatti Corrêa
Avaliador (Poli-Usp)

Esse jogo é dedicado a todos que querem aprender matemática. A educação não pode discriminar ninguém. Espero que se divirtam!

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Fundação Dorina Nowill e ao Colégio Padre Chico por terem nos auxiliado nessa jornada de inclusão e entendimento, me permitindo ver o mundo de outra forma. Obrigada também a todos que nos ajudaram a testar o jogo, o sorriso de uma criança ao se divertir com o nosso jogo fez valer todo o esforço. Um agradecimento especial à Professora Dra. Anarosa Alves Franco Brandão, que nos orientou. Sem sua ajuda, nada disso teria sido possível. Gostaria também de agradecer a minha família: Meu Pai, que me incentivou a buscar uma educação de qualidade e me ensinou a sua importância; Minha mãe que sempre me acolheu e incentivou de maneira carinhosa; Minha irmã, que me prestou o suporte necessário para que eu conseguisse seguir em frente, mesmo que ela não saiba. Finalmente, agradeço aos meus amigos mais próximos, aqueles que fizeram bancada comigo durante o segundo ano da faculdade, aqueles que estiveram comigo desde o primeiro ano e a todos que me acompanharam e me ajudaram nessa jornada. Agradeço a quem tem sido meu apoio nos últimos anos, trazendo leveza e cor à minha vida de forma especial.

Letícia Mendonça Carraro

Gostaria de agradecer a todos que nos apoiaram ao longo da nossa pesquisa sobre inclusão, em especial, a Fundação Dorina Nowill que nos deu a confiança para testar o nosso trabalho e aos alunos do Colégio Padre Chico, que nos ajudaram a compreender o que era preciso para melhorar na educação inclusiva. Também agradeço a professora Rita Iengo por fornecer alguns livros didáticos que tiveram importância na pesquisa. Por fim, agradeço aos meus pais pelo apoio e incentivo aos meus estudos, aos meus amigos e a Professora Dr^a Anarosa Alves Franco Brandão por ter sido nossa orientadora, sempre nos auxiliando e instruindo ao longo desse projeto.

A Todos que nos ajudaram, vocês também contribuíram com a realização inestimável de tornar o mundo um lugar onde mais crianças possam sorrir.

In Memoriam ao meu avô Carlos Parenti, que teve deficiência visual.

Paulo de Tarso Parenti Filho

Gostaria de agradecer a Fundação Dorina Nowill por ter nos mostrado um mundo novo onde as deficiências não definem ninguém. Agradecer também ao Colégio Vicentino Padre Chico por todo o suporte e orientação pedagógica. Agradecer com enorme carinho nossa orientadora, Professora Dra. Anarosa Alves Franco Brandão por todo coordenação e suporte ao nosso projeto. Minha enorme gratidão a todos aqueles que nos ajudaram a realizar esse projeto seja testando, auxiliando, provendo feedback ou apenas comentado. Agradeço imensamente o apoio de minha família, em especial à minha mãe, que sempre

fez de tudo para que eu pudesse me tornar um engenheiro. Aos meus amigos especiais da Getúlio Vargas por estarem presentes em todos os momentos. Aos meus amigos mais queridos da equipe ThundeRatz e por ultimo um agradecimento especial à minha namorada Natália, por estar ao meu lado sempre me incentivando da maneira mais amorosa e carinhosa possível.

Greghory do Amaral

"Não existe educação especial para o deficiente. Toda educação é especial e única"

Dorina Nowill

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um jogo voltado ao ensino de matemática para crianças do sexto ano do ensino fundamental que possuem deficiência visual. A ferramenta visa ensinar expressões numéricas e igualdade em \mathbb{N} de maneira inclusiva para pessoas não videntes ou videntes. Os métodos utilizados para pesquisar e fundamentar a criação do jogo foram compostos por pesquisas de campo, realizadas na Fundação Dorina Nowill e no Colégio Vicentino de Cegos Padre Chico, e por análise de artigos e livros sobre os processos de ensino utilizados no aprendizado de matemática, incluindo a gamificação. Ao final do desenvolvimento, a pesquisa foi submetida na Plataforma Brasil para serem realizados testes do jogo na Fundação Dorina Nowill. Após obter a resposta dos entrevistados a respeito do jogo, foi possível implementar e definir melhorias para serem feitas no projeto, assim como verificar sua eficiência.

Este trabalho está alinhado com o ODS 4-4a.

Palavras-chave: Jogo Digital. Deficiência Visual. Ensino. Matemática. Expressões Numéricas. Gamificação.

ABSTRACT

This article presents the development of a game aimed at teaching mathematics to sixth-grade elementary school students with visual impairments. The tool seeks to teach numerical expressions and equality in \mathbb{N} in an inclusive manner, accessible to both blind and sighted individuals. The methods used to research and support the game's creation included field studies conducted at the Dorina Nowill Foundation and the Colégio Vicentino de Cegos Padre Chico, as well as analysis of articles and books on teaching methods used in math education, including gamification. Upon completion of the development phase, the research was submitted to the Plataforma Brasil for testing at the Dorina Nowill Foundation. Once feedback from participants was gathered, it was possible to implement and determine the necessary improvements for the project, as well as verify its efficiency. This work is aligned with SDG 4-4a.

Keywords: Digital Game. Visual Impairment. Education. Mathematics. Numerical Expressions. Gamification.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Seleção de vozes	29
Figura 2 – Seleção de Fases	29
Figura 3 – Menu de Pausa	29
Figura 4 – Jogo da balança	30
Figura 5 – Jogo do Baú - Igualdade Semelhante	30
Figura 6 – Fase das Porquinhos	31
Figura 7 – Fase das Raposinhas	32
Figura 8 – Diagrama da Fase da Balança	36
Figura 9 – Diagrama da Fase do Baú	37
Figura 10 – Diagrama Fase dos Porquinhos	38
Figura 11 – Diagrama Fase das Raposas	39
Figura 12 – Menu de Pausa	39
Figura 13 – Ajuste de Volume	40
Figura 14 – Imagens das telas	49
Figura 15 – Imagens das telas de Introdução	50

LISTA DE CÓDIGOS

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Habilidades abordadas no jogo e sua correspondência no currículo paulista	33
Tabela 2 – Cronograma de Atividades para 2024	43

LISTA DE QUADROS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
PC	Personal Computer
DOS	Disk Operating System
RPG	Role-Playing Game
OMS	Organização Mundial de Saúde
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
JAWS	Job Access With Speech
NVDA	NonVisual Desktop Access
Ago	Agosto
Set	Setembro
Out	Outubro
Nov	Novembro
Dez	Dezembro

LISTA DE SÍMBOLOS

N Conjunto dos números naturais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	MOTIVAÇÃO	16
1.2	OBJETIVO	17
1.3	JUSTIFICATIVA	17
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	18
2	ASPECTOS CONCEITUAIS	19
3	MÉTODO DE TRABALHO	21
3.1	PESQUISA DE CAMPO NA FUNDAÇÃO DORINA NOWILL	21
3.1.1	Conclusão sobre as perguntas na Fundação Dorina Nowill	23
3.2	PESQUISA DE CAMPO NO COLÉGIO VICENTINO DE CEGOS PADRE CHICO	23
3.2.1	Conclusão sobre as perguntas no Colégio Vicentino de Cegos Padre Chico	25
3.3	TESTES NA FUNDAÇÃO DORINA NOWILL	26
4	ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS	27
4.1	DESCRIÇÃO DOS JOGOS	27
4.1.1	Os jogos	28
4.1.1.1	Introdução	28
4.1.1.2	Menus e Seleção de voz	28
4.1.1.3	Método da balança para igualdade	29
4.1.1.4	Igualdade Semelhante	30
4.1.1.5	Problemas de substituição	30
4.1.2	Requisitos dos jogos	31
4.1.2.1	Acessibilidade	31
4.1.2.2	Engajamento	31
4.1.2.3	Âmbito educacional	32
5	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	34
5.1	TECNOLOGIAS UTILIZADAS	34
5.1.1	O desenvolvimento do jogo	34
5.1.2	Jogos similares existentes no mercado	34
5.2	PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO	35
5.2.1	Introdução e história	35

5.2.2	O método da balança para igualdade	35
5.2.3	Equivalência de expressões	36
5.2.4	Problemas de substituição	37
5.2.5	Menu de Pausa	38
5.2.6	Menu de Áudio	38
5.3	TESTES E AVALIAÇÃO DE ACESSIBILIDADE	40
5.3.1	Conclusões dos testes	42
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
6.1	CONCLUSÕES DO PROJETO DE FORMATURA	44
6.2	CONTRIBUIÇÕES	44
6.3	PERSPECTIVAS DE CONTINUIDADE	44
	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICE A – TELAS DE INTRODUÇÃO E HISTÓRIA	49
	APÊNDICE B – TELAS DE INTRODUÇÃO	50
	APÊNDICE C – DOCUMENTOS - PLATAFORMA BRASIL	51
	ANEXO A – ASSETS UTILIZADOS NO JOGO	53

1 INTRODUÇÃO

No final da década de 60 surgiram os primeiros jogos eletrônicos. Apesar de contar com gráficos extremamente simples e execução de tarefas pouco elaboradas, geravam um grande entretenimento ao usuário, chamado de jogador. Com o passar das décadas e o desenvolvimento da computação, os jogos eletrônicos também foram aprimorados, tornando-se cada vez mais complexos.

Atualmente, o universo dos jogos se expandiu de tal forma que, além da diversidade de categorias de jogos eletrônicos, surgiram abordagens para integrá-los ao contexto de ensino e aprendizagem de crianças(LUFT, 2017). No campo de inclusão digital, existem tecnologias como o DOSVOX(PACITTI, 2002), um sistema desenvolvido pelo Instituto Tércio Pacitti, antigo Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), para microcomputadores da linha PC. Esse sistema permite que pessoas com deficiência visual acessem jogos educativos cuja interface é inspirada no ambiente do sistema operacional DOS (Disk Operating System).

Dado o desafio de tornar alguns conteúdos das ciências exatas mais acessíveis e adaptados para a aprendizagem de pessoas com deficiência visual(MIYAUCHI, 2020), há uma necessidade clara de novos métodos e recursos inclusivos. Para ajudar a solucionar esse problema, será desenvolvido um jogo educativo especialmente projetado para apoiar o aprendizado desses conteúdos de forma acessível e envolvente.

Neste projeto, o foco está no desenvolvimento de um jogo educativo voltado ao ensino de conteúdos matemáticos do 6º ano do Ensino Fundamental, como expressões numéricas e propriedades da igualdade. A proposta do jogo integra elementos de quebra-cabeça e RPG (Role-Playing Game), estilo em que os jogadores assumem papéis de personagens em um universo fictício. O objetivo é proporcionar uma experiência imersiva que permita a aprendizagem de forma lúdica e interativa. O jogo se chama "A Jornada dos Números".

1.1 MOTIVAÇÃO

Segundo dados da OMS, pelo menos 2.2 bilhões de pessoas possuem algum tipo de deficiência visual. Além disso, a concentração de pessoas com deficiência visual é 4 vezes maior em países de baixa a média renda em comparação com países de alta renda. Em especial, crianças pequenas com deficiência visual precoce grave e irreversível podem apresentar atraso no desenvolvimento motor, linguístico, social e cognitivo com consequências que duram o resto da vida. Na questão educacional, crianças em idade escolar podem alcançar níveis de educação mais baixos(ORGANIZATION, 2023), podendo possuir cinco vezes menos probabilidade de estarem matriculadas em escolas formais do que crianças sem deficiências(BURTON, 2021). O ambiente acadêmico também não mostra-se acolhe-

dor, pois essas crianças podem enfrentar exclusão social e violência nas escolas (BURTON, 2021). Além disso, pessoas com deficiência visual encaram perspectivas reduzidas de emprego, tendendo a possuir trabalhos mal remunerados. (BURTON, 2021)

Em crianças de 0 a 14 anos, estima-se que haja cerca de 1,4 milhão com cegueira completa, 22,6 milhões com perda de visão moderada a severa e 46,6 milhões com perda de visão leve (BURTON, 2021). A maioria dessas crianças está localizada em países pobres, fator que agrava mais ainda a desestabilização do sistema educacional nessas mesmas regiões, principalmente tendo em vista que performance educacional está diretamente ligada a performance educacional (BURTON, 2021). Mesmo em lugares mais favorecidos economicamente, ainda é possível notar que parte dos professores não estão preparados para um processo de inclusão de alunos com deficiência visual. Ademais, existem disciplinas, como ciências e matemática, que precisam ser melhor adaptadas com métodos e recursos para ajudar na aprendizagem desses alunos (MIYAUCHI, 2020). Uma melhor educação é crucial para o desenvolvimento e possui a capacidade de reduzir níveis de pobreza e fome, diminuindo desigualdades sociais.

Com base nessa problemática apresentada, o grupo decidiu elaborar uma ferramenta para auxiliar nesse tema que ainda precisa ser explorado na educação.

1.2 OBJETIVO

O objetivo do projeto é o desenvolvimento de um jogo digital de ensino de matemática para crianças do sexto ano do ensino fundamental, voltado especialmente àquelas com deficiência visual, a fim de facilitar o ensino e promover a inclusão digital. O jogo digital de matemática é focado no ensino de expressões numéricas e igualdades em \mathbb{N} , e elaborado de forma que as pessoas videntes, com baixa visão ou ausência completa de visão possam usufruir igualmente de seus benefícios.

1.3 JUSTIFICATIVA

A importância deste projeto está diretamente relacionada ao impacto social causado pelo ensino de qualidade para crianças, sejam elas videntes ou não. A ferramenta se alinha com três dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU).

Primeiramente, o jogo está em sintonia com o ODS 4 - Educação de Qualidade, que visa garantir uma educação inclusiva, equitativa e de qualidade para todos. O projeto contribui para atender às necessidades de crianças cegas e videntes, promovendo a inclusão e eliminando barreiras ao aprendizado para crianças com deficiências visuais, assegurando oportunidades iguais de desenvolvimento de habilidades matemáticas, fundamentais para sua autonomia e sucesso educacional.

O ODS 10 - Redução das Desigualdades, busca reduzir as desigualdades dentro e entre países. O desenvolvimento de uma ferramenta inclusiva contribui para reduzir disparidades educacionais entre crianças cegas e videntes de diferentes classes sociais, permitindo que todas aprendam em igualdade de condições. Além disso, contribui para combater a exclusão social, promovendo uma sociedade mais justa e equitativa.

A inovação e o desenvolvimento de infraestruturas inclusivas também abrangem o ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura. O desenvolvimento de uma ferramenta tecnológica adaptada às necessidades de crianças com deficiência visual exemplifica a inovação voltada para beneficiar grupos frequentemente esquecidos.

Por fim, o ODS 17 - Parcerias e Meios de Implementação, está presente no desenvolvimento deste projeto, já que a criação de ferramentas inclusivas geralmente requer parcerias entre diversos setores, como organizações de educação, tecnologia e inclusão social. O ODS 17 destaca a importância das colaborações para alcançar os ODS, e este projeto ilustra como iniciativas colaborativas podem promover a educação inclusiva.

A conclusão do desenvolvimento deste jogo permitirá que crianças cegas e videntes aprendam juntas, contribuindo para um sistema educacional mais inclusivo e alinhado com a visão da ONU de um mundo onde ninguém seja deixado para trás.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O desenvolvimento do projeto consistiu primeiramente em pesquisas por metodologias de ensino e maneiras de integrar acessibilidade nas tecnologias. Essas informações foram úteis para estabelecer um escopo para o projeto, entretanto, haviam outros detalhes relacionados à deficiência visual, como a maneira que os deficientes interagem com o computador e a forma que eles são educados, detalhes os quais poderiam ser mais aprofundados para certificar que o projeto realmente seria eficiente em sua proposta. Com isso, foi decidido realizar pesquisas de campo, mais detalhadas no capítulo "Método de Trabalho", para compreender melhor o que poderia ser implementado para atingir o objetivo.

Após as primeiras etapas de organização, o foco voltou-se para o desenvolvimento do jogo, o qual será melhor explicado nos capítulos de "Especificação de Requisitos" e "Desenvolvimento do Trabalho". Uma vez desenvolvido o jogo, o principal desafio enfrentado foi realizar o teste do projeto em pessoas, de forma que fosse possível verificar sua acessibilidade para deficientes visuais. O fator que tornou os testes um desafio foi a submissão do projeto para a Plataforma Brasil. Para oficializar a submissão, era preciso que alguma instituição aceitasse assinar uma Carta de Anuência. A Fundação Dorina Nowill, após conhecer melhor o projeto, decidiu assinar e possibilitar os testes com algumas pessoas, incluindo uma criança do 6º ano do ensino fundamental. Terminado os testes de acessibilidade, ainda foi possível implementar no jogo os feedbacks fornecidos pelos entrevistados, sendo melhor explicados no capítulo "Desenvolvimento do Trabalho".

2 ASPECTOS CONCEITUAIS

O conceito de criar o jogo inclusivo foi pensado levando-se em consideração o aumento no número de jovens utilizando jogos digitais nos últimos anos. Mesmo que a maior parte desses jogos sejam utilizados como forma de entretenimento, é razoável considerar que o uso de *games* no ensino seria um fator atrativo para o público alvo do projeto. Além disso, a gamificação já foi utilizada em testes que avaliavam estudantes, de maneira na qual um grupo de alunos que utilizou o jogo apresentou melhores desempenhos do que outro grupo que apenas foi ensinado pelo meio convencional (TURAN et al., 2016). Esse desempenho ainda foi significativamente maior entre crianças na faixa etária de 6 a 12 anos.

Para ser possível elaborar um jogo que fosse capaz de auxiliar no ensino, foi utilizado como base as chamadas metodologias ativas (BACICH; MORAN, 2018). De acordo com Bacich e Moran, as metodologias ativas constituem alternativas pedagógicas que ajudam a colocar o foco do processo de ensino e aprendizagem no aluno, envolvendo-o em uma aprendizagem por descoberta, investigação ou resolução de problemas. A interação humano-computador, nesse contexto, desempenha um papel crucial, uma vez que ela media a relação entre o usuário e o sistema, permitindo que o aluno explore o conteúdo de forma ativa e construtiva, como apontam (BARBOSA; SILVA, 2010). Além disso, a qualidade dessa interação influencia diretamente a eficácia da aprendizagem, exigindo um design cuidadoso da interface e da experiência do usuário.

A inclusão digital, nesse cenário, se torna um imperativo, visando garantir que todos os alunos, independentemente de suas características e necessidades, possam participar ativamente das atividades propostas. Para garantir a acessibilidade e a usabilidade do jogo, foram adotados métodos de avaliação específicos para usuários com deficiência visual, seguindo as recomendações de (DAP, 2023). Esses autores enfatizam a importância de considerar as necessidades dos usuários com deficiência visual durante todo o processo de desenvolvimento de sistemas, desde a concepção até a avaliação, a fim de promover a inclusão digital e reduzir as barreiras de acesso à informação e ao conhecimento.

Portanto, as metodologias ativas buscam criar situações de aprendizagem nas quais os aprendizes possam agir, pensar e conceituar o que fazem, bem como desenvolver a capacidade crítica, refletir sobre a prática realizada no jogo educativo. Quando os alunos jogam, acabam se envolvendo em um contexto que traz significado ao conhecimento.

Conforme Borba, Scucuglia e Gadanidis (BORBA, 2020), a sala de aula de Matemática tem se transformado com o evento das tecnologias. Desde 1990 já era possível destacar o uso de softwares para o ensino de funções (como o Winplot, o Fun e o Graphmathica). Esses softwares abriam na época várias possibilidades didático-pedagógicas apoiadas nos conceitos de combinação, manipulação e construção de objetos matemáticos. Com o

passar dos anos, o advento da internet e as inovações tecnológicas na área da computação acabaram fazendo parte da educação por vezes tornando-se imprescindível, como ocorreu no período da pandemia de Covid-19.

Para desenvolver a ferramenta de ensino, as ideias de problemas e expressões numéricas implementadas no jogo foram extraídas de livros destinados aos alunos do 6^o ano do ensino fundamental(ANDRINI, 1989)(SILVA; FERNANDES; MABELINI, 2013), uma vez que o ensino de matemática para crianças deficientes visuais segue normalmente o currículo de ensino destinado a crianças videntes.

3 MÉTODO DE TRABALHO

Os primeiros passos no desenvolvimento do trabalho incluíram, além da busca por fontes que fundamentassem a ideia e a estratégia de ensino, a compreensão da relação de pessoas com baixa visão com a educação e com o uso de tecnologias, como computadores. Para coletar mais informações sobre as preferências e necessidades de pessoas com deficiência visual, as visitas a instituições especializadas foram essenciais.

Foram visitadas duas instituições: a Fundação Dorina Nowill e o Colégio Vicentino de Cegos Padre Chico, ambas fundamentais para que o grupo entendesse melhor as necessidades das pessoas com deficiência e as limitações das tecnologias atualmente disponíveis.

3.1 PESQUISA DE CAMPO NA FUNDAÇÃO DORINA NOWILL

Com base na proposta estabelecida, o grupo visitou a Fundação Dorina Nowill para conhecer mais sobre as dificuldades enfrentadas no aprendizado. Para entender melhor as necessidades, um roteiro de perguntas foi elaborado e, com base nas respostas, foi possível determinar implementações que devem estar presentes na ferramenta.

As perguntas e uma visão mais ampla de sua resposta encontram-se abaixo:

- **Pergunta 1:** “Quais são os métodos de ensino atualmente utilizados para ensinar matemática para as crianças?”

Resposta: Pessoas com algum tipo de deficiência visual, normalmente utilizam a linguagem universal Braille para leitura, um sistema de escrita tátil. Existem símbolos Braille específicos para representar números, operadores matemáticos, símbolos de função e outras notações matemáticas. Livros e materiais didáticos em Braille estão disponíveis para ensinar matemática desde conceitos básicos até tópicos avançados.

Um desafio em particular são formas geométricas e gráficos, ambos altamente dependentes de visão. Para contornar essa dificuldade, uma das táticas é a utilização de objetos do mundo real para interpretação geométrica e modelos táteis e gráficos em relevo para representar formas geométricas, gráficos de funções e figuras.

Para cálculos, também pode se utilizar o ábaco, que permite que a pessoa com deficiência visual faça contas maiores sem muitos obstáculos.

- **Pergunta 2:** “Existem restrições de orçamento ou tecnológicas que precisam ser consideradas durante o desenvolvimento da ferramenta?”

Resposta: Não existem claras restrições orçamentárias relacionadas ao desenvolvimento do projeto, contanto que a ferramenta seja economicamente acessível tanto para o usuário quanto para o desenvolvedor. O principal foco do grupo em relação a tecnologias,

seria que a ferramenta possuísse competitividade com as soluções existentes no mercado sendo possível sua utilização em hardwares de tablets, computadores e celulares, pois são esses tipos de equipamentos que geralmente estão à disposição da população com deficiência visual.

- **Pergunta 3:** “Como essas crianças interagem com materiais de aprendizagem tradicionais de matemática?”

Resposta: As crianças costumam utilizar recursos de áudio e táteis para aprenderem sobre o ensino de matemática. Além desses métodos, é preciso aprender o braille para poder ler e interpretar textos e equações matemáticas. Nesse sistema de leitura universal, os algarismos são representados de forma análoga às letras, porém, acrescentando-se antes 4 pontos (similar a letra “v” em braille, porém horizontalmente invertido). Esse tipo de representação acaba dificultando a representação de equações matemáticas, principalmente as de elevada complexidade.

Além das formas citadas anteriormente, os jovens aprendem a utilizar o soroban para efetuar os mesmos cálculos que poderiam ser feitos utilizando calculadoras.

- **Pergunta 4:** “O que poderia ser melhorado nessas ferramentas para atender melhor às necessidades das crianças com deficiência visual?”

Resposta: Para atender melhor, é necessário uma plataforma que facilite o ensino de matemática, levando-se em consideração as complexidades do braille e de elementos visuais presentes na matemática (gráficos, formas geométricas, figuras). Logo, uma abordagem por audiodescrição é de extrema importância, sendo possível utilizar esse recurso pelos seguintes softwares:

JAWS (Job Access With Speech): É um software de ampliação de tela e leitura que oferece aos estudantes com deficiências visuais oportunidades para aprender de forma independente, otimizado para o Chrome e Microsoft Edge. Possui o modo “browser” que permite pleno controle de leitura dos navegadores, adicionando palavras para transmitir a mensagem, mesmo que não sejam explicitamente encontradas no DOM (Document Object Model). O Problema: O valor pelo qual o software é oferecido o torna inacessível à maior parte da população. Além disso, seu preço é calculado em dólar, o que dificulta o acesso para a população brasileira.

NVDA (NonVisual Desktop Access): Software open source gratuito para leitura de tela no Windows, otimizado para o Chrome e Firefox. Apesar de ser gratuito, não possui o modo “browser” presente no JAWS. Mesmo sem esse recurso, é um software que possui constantes atualizações e ainda, em termos de adaptabilidade, é mais fácil de se adaptar que o JAWS.

Mesmo com esses softwares, conversando com voluntários na Fundação Dorina, foi possível descobrir que o tom e padrão de voz na audiodescrição são fundamentais para

melhorar a forma de compreensão textual. Uma voz com aspecto robotizado pode dificultar ainda mais o ensino de algum conteúdo extenuante. Outro ponto a ser utilizado se deve ao tamanho das fontes textuais na plataforma. Pensando em pessoas de baixa visão, é importante implementar um método para ampliar as fontes (na formatação Arial, negrito, com tamanho variando até 28). Além das necessidades explicadas, também existe o fator econômico. Grande parte de recursos como computadores adaptados, livros em braille e softwares pagos possuem elevado custo. Logo, é importante desenvolver uma ferramenta de custo acessível.

3.1.1 Conclusão sobre as perguntas na Fundação Dorina Nowill

A partir da visita, ficou clara a necessidade de tornar a plataforma o mais acessível possível, principalmente do ponto de vista econômico. Também é necessário implementar a plataforma visando os diferentes níveis de deficiência visual, seja com o aumento no tamanho das fontes textuais ou com audiodescrição.

No escopo da audiodescrição, busca-se um design que permita uma fácil descrição e um tom de voz que seja agradável pois esses fatores contribuem na eficiência do aprendizado.

3.2 PESQUISA DE CAMPO NO COLÉGIO VICENTINO DE CEGOS PADRE CHICO

Para definir melhor o escopo do projeto, foi realizada uma visita ao Colégio Vicentino de Cegos Padre Chico para entender melhor os interesses e preferências de crianças com deficiência visual. Após uma análise das necessidades das crianças e a realização de algumas perguntas, decidiu-se utilizar o formato de jogo para o ensino de matemática. As perguntas e as respectivas respostas obtidas encontram-se abaixo.

- **Pergunta 1:** “Como é a interação das crianças deficientes visuais com computadores e dispositivos móveis com acesso à internet?”

Resposta: As crianças, quando possuem esses dispositivos para interagir, utilizam esses recursos tecnológicos com alguns softwares de audiodescrição (conforme citado anteriormente na pesquisa de campo na Fundação Dorina Nowill) e, caso possua baixa visão, utiliza interfaces com aumento de fonte textual. Crianças cegas não usam o mouse, então dependem somente das teclas para realizar as instruções no computador.

No geral, os deficientes visuais aprendem a utilizar os computadores e a se adaptarem com teclados ainda no ensino fundamental I. O estudo inicia-se pelas posições das letras e funções do teclado e avança para a compreensão da barra de pesquisa no navegador de internet, entendimento de como acessar sites, abrir arquivos e utilizar softwares editores de texto.

A ideia do colégio é de ensinar informática para as crianças considerando que, no futuro acadêmico ou no mercado de trabalho, elas poderão enfrentar alguma situação de baixa inclusão.

- **Pergunta 2:** “Como ensinam a matemática no colégio, considerando a necessidade de inclusão das crianças deficientes visuais?”

Resposta: A forma de ensino costuma ser semelhante à utilizada em classes de alunos sem deficiência visual, exceto pelo fato dos livros e das provas serem em braille. Utilizam a oralidade para explicar e ainda alguns recursos táteis, como o material dourado (blocos que representam unidades, dezenas, centenas e milhares utilizado para ensinar conceitos de matemática básica).

Algumas vezes, durante as aulas de informática, professores permitem que os alunos joguem jogos educativos que possuem acessibilidade para deficientes visuais. Embora esses jogos apresentem poucos recursos e interface limitada, esta é uma atividade recebida com muita animação pelos alunos. Além disso, os alunos também acessam alguns recursos do DOSVOX (PACITTI, 2002), um sistema para microcomputadores da linha PC que foi desenvolvido pelo Instituto Tércio Pacitti, antigo Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), para jogar alguns jogos educativos cuja interface remete ao padrão do sistema operacional DOS (Disk Operating System).

- **Pergunta 3:** “Considerando a possibilidade de integrar o ensino com o entretenimento, quais tipos de brincadeira e passatempo as crianças deficientes visuais costumam fazer?”

Resposta: No geral, as crianças não videntes brincam e gostam das mesmas coisas que uma criança vidente. Algumas atividades variam por conta da acessibilidade, mas crianças com deficiência visual também usufruem da tecnologia como vídeos e audiodescrição em plataformas de compartilhamento de vídeos e comunicação. Nas aulas de informática mencionadas na resposta anterior, as crianças jogam os mesmos jogos educativos, ou seja, não há exclusão ou separação devido à deficiência. Segundo alguns professores, as crianças não videntes gostam de estímulos auditivos (boa audiodescrição, sonoplastia e música) enquanto jogam algum jogo na aula de informática.

- **Pergunta 4:** “Com base nos jogos digitais educativos que as crianças jogam nas aulas de informática, há alguma funcionalidade que poderia ser aprimorada ou adicionada para melhorar a qualidade do aprendizado?”

Resposta: Há muitas funcionalidades que podem ser melhoradas. Durante a conversa com alunos e professores, foi possível a elaboração de uma lista de melhorias que podem ser realizadas:

- Aperfeiçoamento da interface do jogo educativo, visto que por vezes elas são confusas na audiodescrição ou precisam de melhorias no comando efetuado por teclado.
- Melhoria na quantidade de conteúdo educativo a ser trabalhado. Os jogos existentes possuem conteúdos limitados com relação ao ensino de matemática, explorando mais tópicos do Ensino Fundamental I do que relacionado ao Ensino Fundamental II.
- Otimizações de performance. Os jogos educativos são limitados nas funcionalidades, alguns alunos sugeriram a possibilidade de refazer contas matemáticas para aprenderem melhor ou de ter mais conteúdo que ajudasse no aprendizado.
- Melhoria na audiodescrição. Alguns professores comentaram que uma monotonicidade de áudio ou uma baixa qualidade de áudio interferem no aproveitamento das crianças em uma ferramenta de aprendizado.

3.2.1 Conclusão sobre as perguntas no Colégio Vicentino de Cegos Padre Chico

Após a análise das respostas obtidas e das informações coletadas na visita à Fundação Dorina, foi formulada uma síntese de ideias, concluindo-se que um jogo digital educativo e acessível, voltado ao ensino de matemática (propriedades da igualdade e expressões numéricas com números naturais), representa uma abordagem eficaz para incentivar o aprendizado desse conteúdo.

Para alcançar essa conclusão, foram consideradas as seguintes observações:

- O ensino de informática para deficientes visuais já é oferecido desde o Ensino Fundamental I. Mesmo aqueles que adquirem deficiência visual posteriormente passam por uma série de readaptações, oferecidas gratuitamente por instituições como a Fundação Dorina Nowill, para utilizar tecnologias atuais, permitindo inferir que o público conseguirá acessar a ferramenta digital planejada.
- As crianças não videntes do sexto ano do ensino fundamental, principal foco do jogo educativo, têm interesses de entretenimento similares aos de crianças videntes. Atualmente, os jogos digitais são uma preferência para muitas crianças, tornando-os um meio eficaz para aproximá-las do conteúdo educacional.
- Os jogos educativos utilizados no colégio estavam tecnologicamente defasados em comparação com os recursos atuais. Uma melhoria na interface e tecnologia, conforme mencionado anteriormente, poderia contribuir para aprimorar a ferramenta de estudo.
- O conteúdo desses jogos educativos, embora limitado, servia como uma maneira para os alunos testarem seus conhecimentos. Mesmo com as limitações dos jogos

utilizados nas aulas de informática, constatou-se que os alunos apreciavam esse tipo de ferramenta. Ampliar a oferta de conteúdos educativos, como expressões numéricas e propriedades da igualdade em \mathbb{N} , contribuirá ainda mais para o ensino.

3.3 TESTES NA FUNDAÇÃO DORINA NOWILL

Com base na proposta estabelecida, o grupo visitou a Fundação Dorina Nowill novamente para determinar a acessibilidade do jogo bem como a sua dificuldade. Detalhes do teste e seu resultados são discutidos na seção 5.3. TESTES E AVALIAÇÃO.

4 ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS

A ferramenta de ensino em princípio abordará assuntos da grade curricular de matemática do ensino fundamental II no Brasil. Sabe-se que em tarefas relacionadas a memorização, crianças e jovens cegos normalmente possuem um desempenho melhor do que jovens com visão (WITHAGEN et al., 2013). Com isso, uma das ideias trabalhadas no jogo está relacionada com a memorização de termos de expressões matemáticas por meio de audiodescrições nas fases do jogo. Isso permite um treino de matemática juntamente com a memorização, de modo que gradualmente prepare o aluno a compreender sistemas matemáticos mais complexos.

Mesmo considerando a ideia de trabalhar com tarefas que exigem a memorização, existem fatores que podem influenciar na capacidade de memória de um deficiente visual como, por exemplo, o nível educacional do país, o ensino na escola na qual o jovem frequentou e até origem familiar (HACKERMANN AL, 2020). Levando-se isso em consideração, outras técnicas de ensino também foram trabalhadas como o uso de recursos lúdicos e auditivos e a criação de fases com diferentes níveis de dificuldade para permitir que o aluno consiga aos poucos aprender conforme o próprio ritmo.

O jogo também atende requisitos textuais e simbólicos para facilitar a audiodescrição, além de possuir a fonte textual em tamanho aumentado para favorecer indivíduos que possuem baixa visão.

Por fim, os conceitos matemáticos ensinados estão de acordo com o currículo do sexto ano, abordando tópicos como igualdade, operações básicas e resolução de equações.

4.1 DESCRIÇÃO DOS JOGOS

O jogo educativo consistirá de uma narrativa focada em uma criança herói que tenta salvar um reino utilizando seus conhecimentos de matemática para solucionar os problemas que encontra pelo caminho. Será dividido em desafios com números naturais: adição e subtração, multiplicação, divisão e todas as operações anteriores. Os desafios sempre abrangem o conteúdo de expressões numéricas e propriedades de igualdade. Cada um dos desafios será representado com alguma analogia a uma situação do herói, nesse ponto, o intuito é misturar o ensino lúdico com uma possível aplicação da matemática.

Ao completar cada desafio, haverá um aviso sonoro indicando o sucesso ou a falha. Ao longo das etapas de aprendizado no jogo, há narrações e sonoplastias com o intuito de gerar um estímulo positivo nas crianças não videntes.

Foram implementadas 4 fases do jogo, sendo duas delas abordando sobre equações numéricas com dois níveis de dificuldade. As fases abordam conceitos que trazem uma didática diferente para o aluno. As fases são descritas a seguir.

Na seção 5.2. PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO, são discutidos detalhes a respeito de como o jogo funciona a partir de um ponto de vista de implementação.

4.1.1 Os jogos

4.1.1.1 Introdução

Assim que o jogador inicia o jogo, a história abaixo começa a ser contada. Com isso, os alunos começam a se envolver mais com o jogo, o que o torna mais cativante, tendo em vista que eles tem uma missão a cumprir.

"O vilão Duque Fumaça, em sua torre de poluição, tramava um plano maligno. Suas fábricas despejavam fumaça no ar [som de fumaça e máquinas], contaminavam os rios ao redor de Sujópolis [som de água corrente e moscas], deixando todos os cidadãos doentes em pouco tempo [som de tosse e gemidos], sem ninguém para ajudá-los. Em busca de aumentar seus lucros, o Duque Fumaça voltou seus olhos para a linda e saudável Felizópolis [som de passarinhos cantando e vento suave] e começou a pôr em prática um plano sombrio [som de risada maligna]. Pouco a pouco, ele convenceu o prefeito de Felizópolis de que o dinheiro era mais importante do que o bem-estar dos cidadãos [som de moedas caindo] e que a natureza não merecia respeito [som de árvores caindo]. O prefeito, seduzido pelos tesouros oferecidos pelo Duque Fumaça, instalou uma fábrica na cidade em menos de um mês [som de construção e máquinas]. Os cidadãos de Felizópolis, antes alegres e saudáveis, passaram a beber água contaminada [som de água borbulhando], comer alimentos tóxicos [som de pessoas comendo] e ficaram cada vez mais doentes e tristes [som de suspiros e choros]. A tristeza tomou conta da cidade, deixando todos sem forças e sem ânimo [som de passos lentos e desanimados; suspiros exauridos]. Ninguém conseguia tirar os prefeitos corruptos do poder, pois estavam exaustos e desanimados [som de portas se fechando e silêncio pesado]... Ninguém, exceto crianças super corajosas e talentosas em matemática! [som de trombeta triunfante] Você acha que é capaz de ajudar os cidadãos tristes de Felizópolis a recuperarem sua alegria e transformar a vila poluída de Sujópolis em uma próspera Limpópolis?"

4.1.1.2 Menus e Seleção de voz

Também foram inclusos no desenvolvimento o Menu de Pausa, de seleção de voz e de seleção de fase.

Logo após a introdução surge a opção para que o jogador selecione "a voz que o acompanhará nessa jornada".

Em seguida, o jogador precisará então escolher a fase na qual tem interesse.

Após selecionar um jogo, o jogador poderá pausa-lo a qualquer momento, pressionando a tecla esc.



Figura 1 – Seleção de vozes



Figura 2 – Seleção de Fases



Figura 3 – Menu de Pausa

4.1.1.3 Método da balança para igualdade

Objetivo de Aprendizado: Introduzir os alunos ao conceito de igualdade em equações e familiarizá-los com a resolução de equações básicas.

Mecânica base: A balança representa uma equação onde um dos lados tem um peso conhecido através de uma equação. Os alunos devem resolver a equação para determinar o peso desconhecido, mantendo o equilíbrio da balança.



Figura 4 – Jogo da balança

4.1.1.4 Igualdade Semelhante

Objetivo de Aprendizado: Desenvolver a compreensão do conceito de igualdade, mostrando que diferentes expressões podem ter o mesmo valor.

Mecânica base: Os alunos recebem uma equação numérica inicial e devem escolher ou construir outras expressões que resultem no mesmo valor.

Ex.:

$$\begin{aligned} 77 + 33 &= 33 + 77 \\ 58 + 26 &= 49 + 35 \end{aligned} \quad (4.1)$$



Figura 5 – Jogo do Baú - Igualdade Semelhante

4.1.1.5 Problemas de substituição

Objetivo de Aprendizado: Explorar operações matemáticas e suas aplicações em problemas práticos, reforçando conceitos como operações básicas, propriedades da igualdade e dimensões espaciais.

Nesse caso, existem dois jogos que abordam dois diferentes cenários. A primeira fase, a "fase dos porquinhos" e a segunda fase, um pouco mais difícil, a "fase das raposinhas"



(a) Fase dos Porquinhos - 1



(b) Fase dos Porquinhos - 2



(c) Fase dos Porquinhos - 3



(d) Fase dos Porquinhos - 4

Figura 6 – Fase das Porquinhos

4.1.2 Requisitos dos jogos

Os jogos devem ser acessíveis e atrativos para todas as crianças, independentemente de terem deficiência visual ou não. Para alcançar esse objetivo, é importante utilizar cores vibrantes e ilustrações chamativas para as crianças videntes, enquanto sons variados e envolventes são essenciais para garantir uma experiência imersiva para aquelas com baixa ou nenhuma visão.

4.1.2.1 Acessibilidade

Interface Adaptada: A interface foi elaborada para ser acessível tanto para crianças videntes quanto para aquelas com deficiência visual. Nos menus do jogo estão presentes a audiodescrição e outros efeitos sonoros que indicam que alguma opção está selecionada.

Navegação por teclado: A navegação foi totalmente adaptada para o teclado, permitindo que as crianças com deficiência visual joguem sem assistência. Isso inclui descrições sonoras, instruções de jogo, e feedback auditivo para cada ação.

4.1.2.2 Engajamento

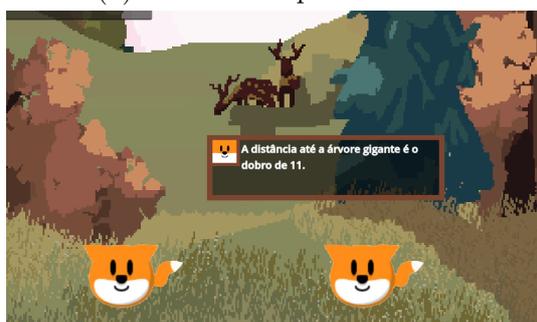
Design Visual Atraente: O jogo utiliza cores vivas e ilustrações atraentes para capturar a atenção das crianças videntes, além disso, as tonalidades utilizadas buscam ser contrastantes para pessoas que possuem problemas de visão que interferem na identificação de cores, como o daltonismo por exemplo.



(a) Fase das Raposinhas - 1



(b) Fase das Raposinhas - 2



(c) Fase das Raposinhas - 3



(d) Fase das Raposinhas - 4

Figura 7 – Fase das Raposinhas

Áudio Envolvente: Foi implementado sons e música que se ajustam ao contexto do jogo, ajudando a criar uma atmosfera imersiva e fornecendo pistas auditivas que complementam as mecânicas do jogo. **Histórias Interativas:** Para o engajamento de todas as crianças, buscou-se desenvolver narrativas cativantes que incentivem a progressão no jogo e que as mantenham atentas em aprender através do enredo.

Conteúdo Adequado: O conteúdo do jogo foi elaborado para ser adequado à faixa etária, sem elementos que possam ser considerados impróprios ou desencadeantes.

4.1.2.3 Âmbito educacional

Conteúdo Alinhado ao Currículo: É imprescindível garantir que os conceitos matemáticos ensinados estejam de acordo com o currículo do sexto ano. Os temas a serem abordados, conforme citados anteriormente, irão focar no ensino de expressões numéricas e nas propriedades da igualdade. Para isso, espera-se que os usuários da ferramenta tenham uma noção básica das operações de adição, subtração, multiplicação e divisão. Os pontos de interesse (baseados na grade curricular do ensino fundamental de São Paulo (PAULO, 2019)) são:

Feedback Imediato: Para que seja mantida a imersão e engajamento do aluno no jogo, é essencial oferecer feedback instantâneo para as suas respostas, explicando erros e reforçando o aprendizado de forma positiva.

Tabela 1 – Habilidades abordadas no jogo e sua correspondência no currículo paulista

Habilidades Currículo Paulista	Objetos do Conhecimento
(EF06MA03) Solucionar e propor problemas que envolvam cálculos (mentais ou escritos, exatos ou aproximados) com números naturais, por meio de estratégias pessoais, com compreensão dos processos neles envolvidos com e sem uso de calculadora.	Operações (adição, subtração, multiplicação, divisão e potenciação) com números naturais; Divisão euclidiana.
(EF06MA14) Reconhecer que a relação de igualdade matemática não se altera ao adicionar, subtrair, multiplicar ou dividir os seus dois membros por um mesmo número e utilizar essa noção para determinar valores desconhecidos na resolução de problemas.	Propriedades da igualdade.
(EF06MA15) Resolver e elaborar situações problema que envolvam a partilha de uma quantidade em duas partes desiguais, envolvendo relações aditivas e multiplicativas, bem como a razão entre as partes e entre uma das partes e o todo.	Problemas que tratam da partição de um todo em duas partes desiguais, envolvendo razões entre as partes e entre uma das partes e o todo.

5 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

5.1 TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Para o desenvolvimento do jogo, a engine Godot 4.0 foi utilizada. Essa engine permite que o jogo seja acessível via navegador o que ajuda a difundir a utilização do jogo.

Para os assets do jogo, alguns foram desenhados e editados pelo grupo e outros foram obtidos por bibliotecas gratuitas disponíveis para consulta no anexo A. Por fim, os recursos de voz utilizados foram de audiodescrição provinda do próprio sistema operacional e outras vozes geradas no speechgen e no ttsmp3 (Detalhes no anexo A).

5.1.1 O desenvolvimento do jogo

Com as informações obtidas nas visitas, o grupo passou ao desenvolvimento do jogo em si. Para tal, foram consultados livros de matemática do sexto ano que propiciaram um entendimento mais aprofundado sobre como os conceitos a serem abordados no jogo poderiam ser implementados. Tendo isso em mente, três métodos foram utilizados: Método da Balança para Igualdade, Conceito de Igualdade Semelhante e Situações Problemas. Além das fases, foi criado um menu de seleção de modos do jogo e um menu de pausa contendo as opções de “continuar”, “áudio” e “sair”.

5.1.2 Jogos similares existentes no mercado

A criação de jogos acessíveis é muitas vezes deixada de lado e o foco para muitos desenvolvedores é a melhor experiência para a pessoa vidente, até mesmo entre jogos educativos.

Atualmente, já existem diversas opções que combinam aprendizado e entretenimento, utilizando narrativas envolventes e mecânicas lúdicas para ensinar conceitos matemáticos e de lógica. Os jogos DragonBox (Norueguês), Prodigy (Canadense) e The Counting Kingdom são exemplos de jogos educativos que se destacam por introduzir de maneira intuitiva e divertida conceitos de álgebra e aritmética.

Embora muitos desses jogos sejam eficazes em ensinar matemática de forma divertida, a acessibilidade para crianças com deficiência visual ainda é um desafio pouco explorado.

O grupo conseguiu encontrar jogos eletrônicos voltados para ensino de matemática para pessoas com deficiência visual apenas através da escola Perkins School for the Blind, a primeira escola para cegos dos Estados Unidos. O fato desses jogos existirem é um passo na direção certa, porém há espaço para melhorias. Os jogos oferecidos são simples e não possuem nenhuma forma de narrativa. Além disso, utiliza vozes artificiais para leitura de tela e descrição das fases, o que pode tornar o jogo monótono.

5.2 PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO

5.2.1 Introdução e história

Assim que o jogador entra no jogo, ele é recebido com a história introdutória. Essa história, mencionada no capítulo anterior, é apresentada de forma acessível: exibida na tela com texto em fonte grande e de fácil leitura sobre um fundo preto, acompanhada por narração em áudio clara e pausada, com estímulos auditivos. Isso garante que jogadores com diferentes necessidades visuais ou auditivas possam compreender o enredo e garantir seu envolvimento com o jogo.

Após a introdução, o jogador pode personalizar a experiência escolhendo a voz que o acompanhará na jornada. Para isso, ele utiliza as setas do teclado para navegar entre as opções e confirma sua escolha pressionando Enter. As vozes e sua disposição são aquelas fornecidas pelo próprio sistema operacional, transformando o jogo em acessível para qualquer sistema operacional. Estímulos visuais e sonoros são usados para facilitar essa seleção: um círculo piscante alterna cores vibrantes para indicar a voz selecionada no momento, enquanto cada voz é reproduzida brevemente para que o jogador possa ouvi-la antes de decidir.

Após selecionar a voz, o jogador é direcionado ao menu de seleção de fases. Três fases são apresentadas de forma clara e acessível, com opções de navegação tanto pelo mouse quanto pelo teclado, utilizando a tecla Tab para alternar entre as opções. Para selecionar uma fase, o jogador pode clicar com o mouse ou pressionar Enter. Feedback visual e auditivo acompanha cada interação:

- Quando o cursor do mouse passa sobre uma fase, ela “balança” levemente para indicar o foco.
- Quando uma fase é selecionada, o nome e a descrição da fase são lidos em voz alta e destacados visualmente com um contorno ou aumento de contraste.

Essas implementações tornam o jogo inclusivo, promovendo acessibilidade para jogadores com deficiência visual, além de melhorar a experiência geral para todos os usuários.

5.2.2 O método da balança para igualdade

Esse jogo possui apenas um cenário. Inicialmente é feita a introdução do jogo utilizando-se um "feiticeiro" que descreve o objetivo do jogo e como jogá-lo.

A partir daí, o jogador é apresentado com contas de um lado da balança e deve colocar o resultado correto do outro lado.

Nesse jogo, o jogador possui apenas uma tentativa para acertar. Caso o aluno erre, é tocado um áudio explicando a resolução do problema e, em seguida, a tela é recarregada

com outro problema. Caso o jogador acerte um som indicativo de vitória será reproduzido. O comportamento esperado do jogo pode ser visualizado no diagrama abaixo.

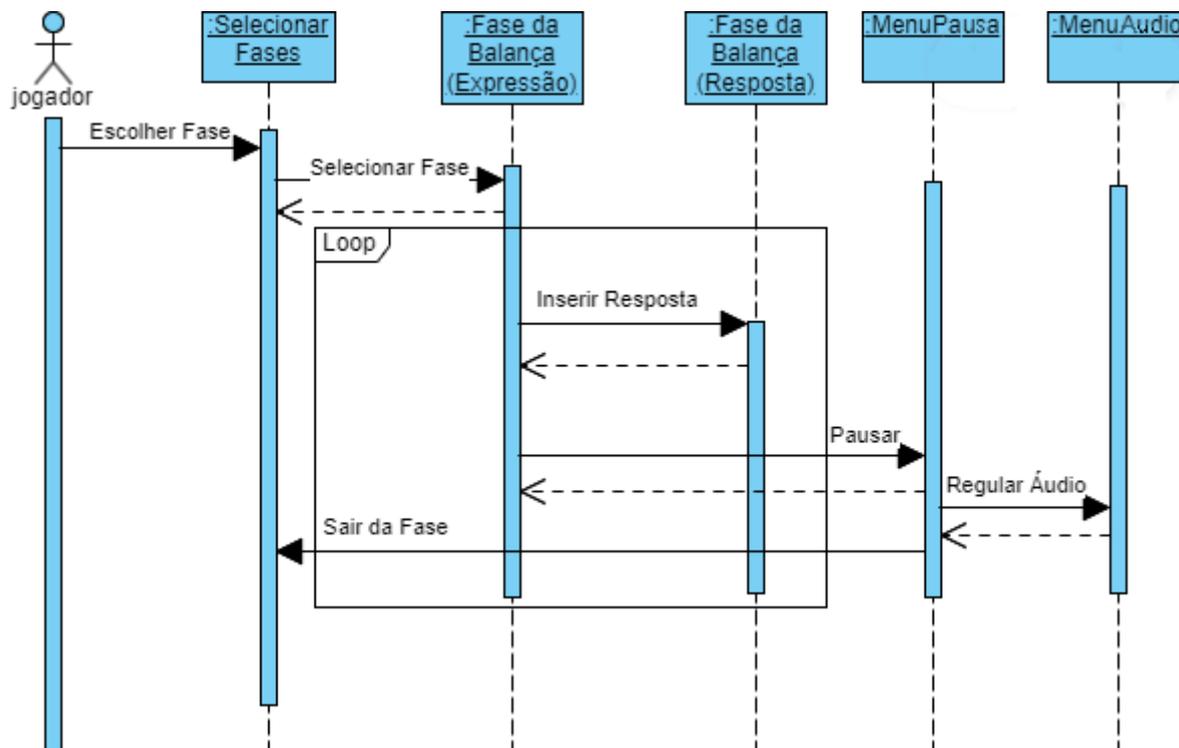


Figura 8 – Diagrama da Fase da Balança

5.2.3 Equivalência de expressões

Essa fase do jogo tem o objetivo de apresentar um problema de equivalências de expressões matemáticas, ou seja, expressões que façam o usuário entender expressões diferentes podem gerar resultados iguais.

A fase possui um cenário introdutório onde o "feiticeiro" descreve as ferramentas e objetivos do fase e como jogá-la.

Terminada a introdução, o viajante é apresentado com 5 expressões, 1 expressão que representa a fechadura de um baú e outras 4 que representam chaves. O usuário, deve então, escolher um número entre 1-4 que representa a chave na qual possui o mesmo resultado da expressão do baú.

O jogador possuirá três tentativas para acertar a expressão correta, caso esse limite seja extrapolado, ocorrerá um áudio explicando como deve ocorrer a resolução do problema, em seguida, a tela é recarregada com o mesmo problema mas com diferentes valores nas variáveis. Caso o jogador acerte um som indicativo do baú abrindo acontecerá e o jogador será parabenizado pelo acerto recebendo uma moeda dourada. Vale ressaltar que o jogador sempre poderá pedir para que as expressões sejam repetidas pressionando a tecla "R".

Novamente, o diagrama com o comportamento esperado pode ser visualizado abaixo.

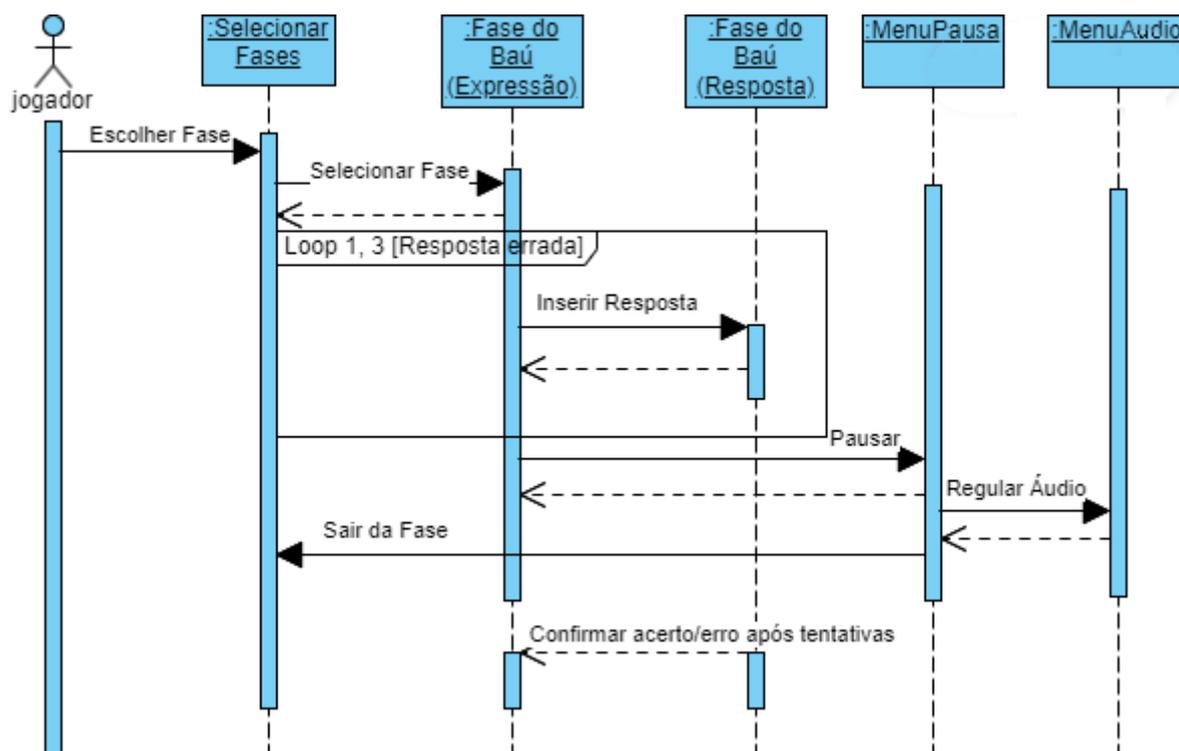


Figura 9 – Diagrama da Fase do Baú

5.2.4 Problemas de substituição

Antes de iniciar a fase, há uma descrição dos botões a serem utilizados na fase e o que deverá ser feito, após isso, o jogador poderá apertar a tecla "R" para repetir ou "Enter" para iniciar o problema. O jogo consiste em um cenário onde apenas a câmera é deslocada para cada parte do cenário conforme o jogador pressiona as teclas das setas direcionais do teclado. A ideia desse deslocamento é de facilitar a audiodescrição do problema em cada lugar em que a câmera irá focar.

O formato do jogo pode ser representado por um diagrama de estados com 4 estados, sendo 3 deles correspondentes a uma áudio descrição de parte dos elementos da equação e um deles o local onde será inserido o valor da resposta.

O jogador possuirá três tentativas para acertar, caso esse limite seja extrapolado, ocorrerá um áudio explicando a resolução do problema e, em seguida, a tela é recarregada com o mesmo problema mas com diferentes valores nas variáveis. Caso o jogador acerte irá reproduzir um som indicativo de vitória mas, ainda assim, ocorrerá uma breve explicação da operação realizada.

Após concluir a fase com sucesso, uma nova fase será introduzida. A mecânica é análoga a fase anterior, porém, o problema possui um nível de dificuldade maior. Concluído esse outro teste, irá reproduzir um som indicativo de vitória, ocorrerá uma breve explicação da operação realizada e o jogo retorna para a cena de seleção de fases.

O comportamento descrito pode ser observado nas figuras 10 e 11.

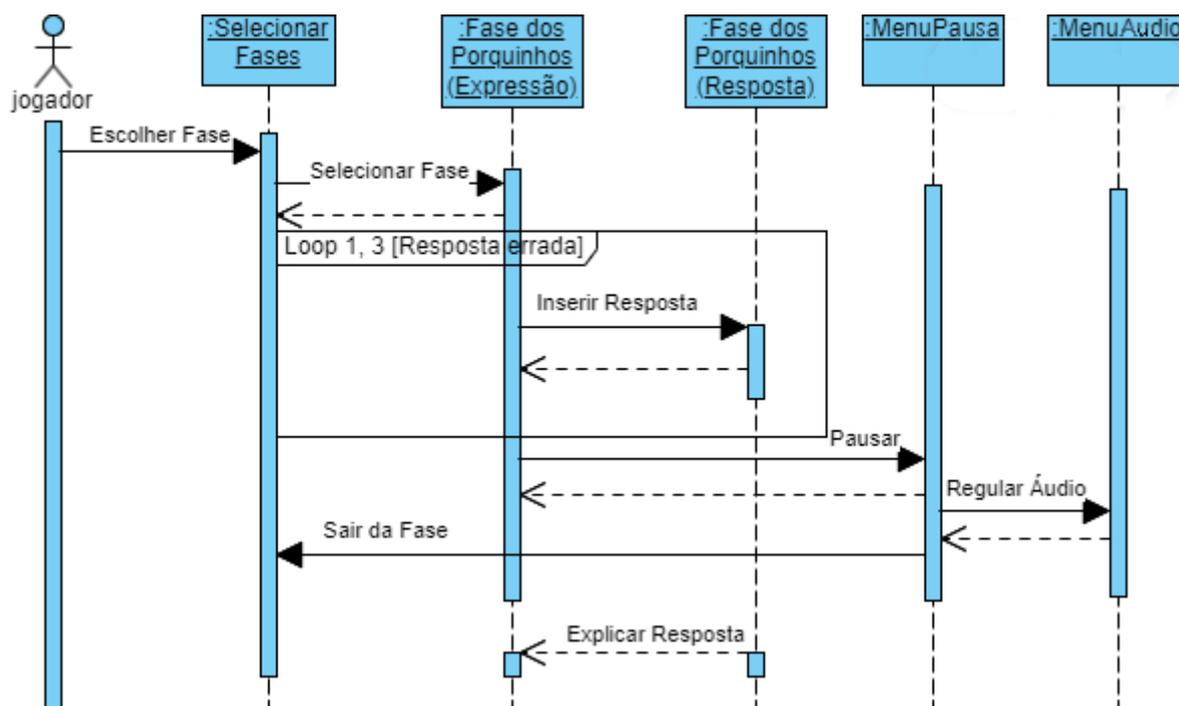


Figura 10 – Diagrama Fase dos Porquinhos

5.2.5 Menu de Pausa

Ao pressionar a tecla "escape" em qualquer uma das fases, será carregado o menu de pausa do jogo. Nesse estado, a música de fundo, presente na atual fase, será pausada e o jogador terá acesso a três opções: continuar, áudio e sair. A opção "continuar" retorna para a fase atual, a opção "áudio" carrega um menu para regular o som da voz emitida pelo sistema operacional e, por fim, a escolha "sair" faz com que retorne para a cena de escolher fases.

Nesse menu de pausa, está presente um aviso sonoro indicando que o cursor está selecionando as opções disponíveis e possui também a audiodescrição dessas escolhas. Pensando em também ajudar o deficiente visual a reconhecer que encontra-se no menu de pausa, além de ocorrer a pausa da música quando o jogo entra nesse estado, há dois avisos sonoros diferentes indicando respectivamente quando são solicitadas a entrada e a saída desse menu. Com relação as teclas utilizadas na navegação da cena, podem ser utilizadas a tecla "Tab" ou as setas verticais do teclado para escolher as opções. Para selecionar, pode-se utilizar a tecla "Espaço" ou "Enter".

5.2.6 Menu de Áudio

Dentro do menu de pausa, ao selecionar a opção "Áudio", o jogador será levado para uma tela onde é possível ajustar o volume da voz do sistema operacional. Nessa interface, uma audiodescrição indica que o jogador deverá utilizar as setas horizontais do teclado para aumentar ou diminuir o volume da voz que descreve cada fase e menu. Durante esse

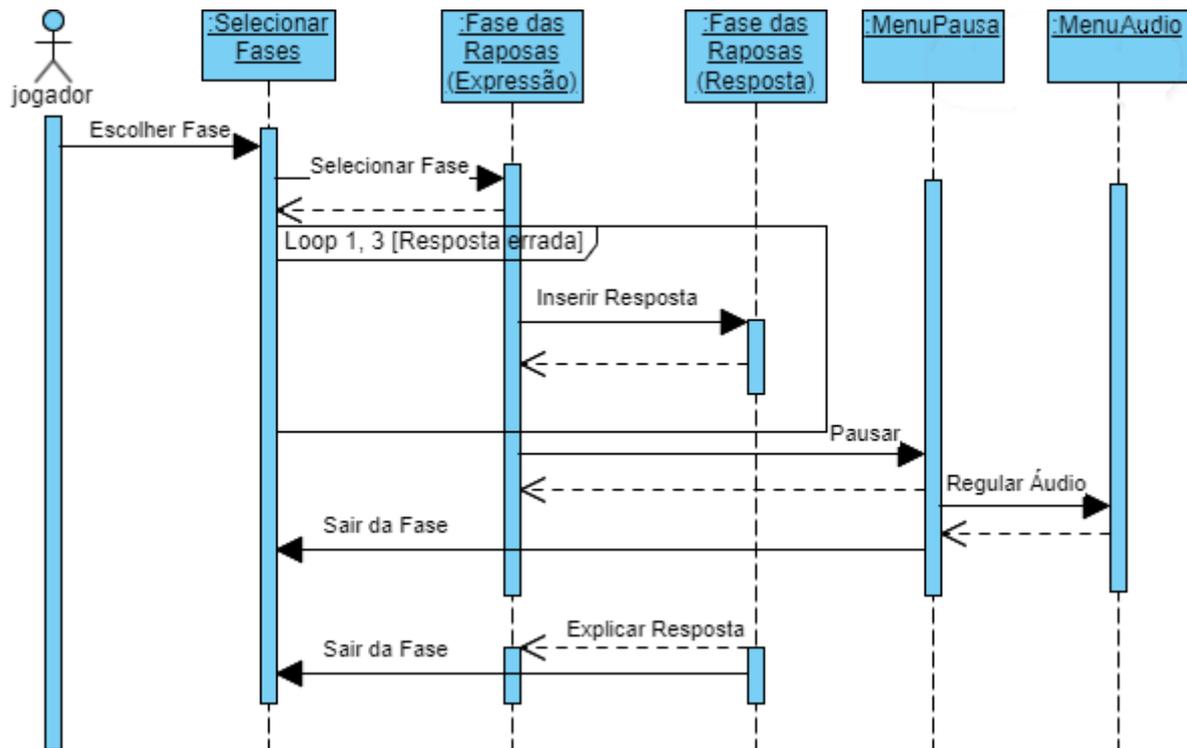


Figura 11 – Diagrama Fase das Raposas



Figura 12 – Menu de Pausa

ajuste, foi estabelecido um valor máximo e mínimo para o volume, não sendo possível silenciar a voz, visto que isso comprometeria a acessibilidade. Caso o jogador deseje retornar para a cena anterior, no caso o menu de pausa, deverá apertar a tecla "escape" ou "enter".

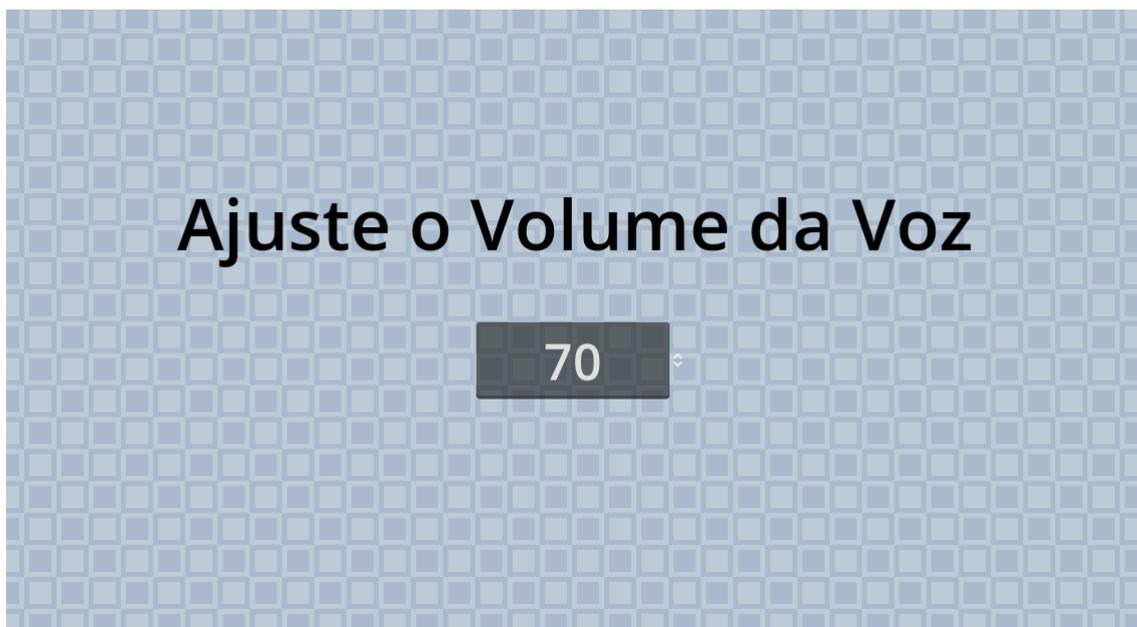


Figura 13 – Ajuste de Volume

5.3 TESTES E AVALIAÇÃO DE ACESSIBILIDADE

Os testes iniciais das fases desenvolvidas foram feitos pelos próprios alunos desenvolvedores e voluntários que tiverem interesse em ajudar no desenvolvimento do jogo. Esses testes foram utilizados para capturar quaisquer comportamentos inesperados do jogo.

Para avaliar a efetividade da ferramenta no aprendizado, o grupo entrou em contato com a fundação Dorina Nowill, centro de referência nacional na área da deficiência visual, para que em conjunto fosse realizado um estudo buscando entender o impacto do jogo no ensino das crianças, ou seja, validando ou não sua utilidade.

O estudo foi realizado com uma criança totalmente cega e um adulto completamente cego. A criança, que está cursando o 6^o ano do ensino fundamental enquanto o adulto já possui escolaridade avançada e foi de grande auxílio nos testes de acessibilidade. Como o objetivo do projeto está ligado a entender o impacto da ferramenta no ensino de matemática, é importante entender qual o seu real nível de inclusão.

Para realização do teste foram utilizadas as técnicas e materiais listados abaixo.

1. **Sessões de observação:** as sessões de observação foram realizadas de forma remota, no dia e horário previamente agendados com os participantes.
 - (a) Atividade 1 - Configurar o ambiente
 - (i) Navegar pela menu introdução da ferramenta;
 - (ii) Escolher uma voz de narração;
 - (iii) Selecionar as diferentes fases.
 - (b) Atividade 2 - Jogar e interagir com a fase da balança

- (i) Navegar pela introdução da fase;
 - (ii) Testar a pausa;
 - (iii) Inserir uma resposta errada;
 - (iv) Inserir uma resposta certa.
- (c) Atividade 3 - Jogar e interagir com a fase das igualdades
- (i) Navegar pela introdução da fase;
 - (ii) Testar a pausa;
 - (iii) Inserir uma resposta errada;
 - (iv) Testar o botão de repetir;
 - (v) Inserir uma resposta certa.
- (d) Atividade 4 - Jogar e interagir com a fase dos animais
- (i) Navegar pela introdução da fase;
 - (ii) Testar a pausa;
 - (iii) Inserir uma resposta errada no primeiro desafio;
 - (iv) Inserir uma resposta certa no primeiro desafio;
 - (v) Avançar para o segundo desafio;
 - (vi) Inserir uma resposta errada no segundo desafio;
 - (vii) Inserir uma resposta certa no segundo desafio;

2. Pensamento em voz alta: o objetivo de utilizar esse método é de que o usuário expusesse sua linha de raciocínio e pensamentos ao longo da sessão de forma totalmente voluntária e espontânea sem que houvesse pressão para falar.

3. Questionário de usabilidade e acessibilidade: ao termino de cada sessão, será pedido aos participantes que respondam um questionário de acessibilidade para podermos avaliar melhor a acessibilidade da ferramenta. O questionário encontra-se anexo a esse documento.

A pesquisa foi realizada em duas etapas. A primeira etapa é relacionada à acessibilidade e entendimento da ferramenta. Nessa etapa, o maior foco é entender os pontos positivos e negativos da plataforma e avaliar sua acessibilidade e usabilidade. Para tanto, os participantes tiveram acesso a ferramenta e, logo após responderam um questionário sobre o jogo.

A segunda etapa tem por objetivo entender o impacto da ferramenta no ensino de matemática. Para essa etapa seria necessário estudantes do 6^o do ensino fundamental para melhor avaliar se a ferramenta realmente auxilia no ensino. Para realizar uma prova de conceito, é necessário o teste de pelo menos 2 crianças videntes e pelo menos 3 crianças

cegas ou com baixa visão, sendo a distribuição de 1 ou 2 crianças cegas e 1 ou 2 crianças com baixa visão, permitindo assim a validação inicial.

A mobilização dos participantes foi realizada em parceria com a instituição Dorina Nowill, uma entidade que desenvolve projetos e ensino para pessoas cegas para o Brasil. O convite e aceite dos participantes, foi realizado na própria instituição presencialmente onde também foram assinados os termos de assentimento e os termos de consentimento, ambos anexos a este documento.

5.3.1 Conclusões dos testes

Avaliação: L., deficiente visual, Cursando Ensino Superior

Segundo o feedback de L., um usuário com deficiência visual e experiência no uso de tecnologias assistivas, algumas melhorias podem ser implementadas no jogo para garantir maior acessibilidade e clareza nas interações. Uma das principais sugestões foi a necessidade de explicitar os comandos básicos, como "aperte Enter para prosseguir", "use Tab para navegar" e "utilize as setas para selecionar opções", garantindo que as instruções estejam claramente indicadas e sejam narradas. Adicionalmente, foi destacada a importância de fornecer orientações claras sobre como funciona a navegação em cada fase e sobre o uso das teclas, incluindo a função da tecla "Esc" para saída ou retorno.

Apesar dos pontos de melhoria, que foram levados em consideração e implementados no jogo, L. destacou que o jogo já está muito bom do ponto de vista de inclusão. Alguns dos pontos positivos observados incluem a leitura do número digitado pelo jogador, feedback sonoro ou textual para acertos e erros, e a divisão das instruções por etapas para facilitar a compreensão.

Essas recomendações ressaltam a necessidade de tornar o jogo não apenas funcional, mas intuitivo e acessível para jogadores com deficiência visual. A implementação de tais ajustes contribuirá significativamente para a usabilidade e para o alcance dos objetivos educacionais e inclusivos do projeto.

Avaliação: M., deficiente visual, Cursando o 6º ano do ensino fundamental

O feedback fornecido por M., uma estudante do 6º ano com deficiência visual, evidenciou pontos positivos e áreas de melhoria no jogo educativo. De maneira geral, o jogo foi avaliado como fácil de entender, sem dificuldades em relação ao vocabulário, e muito fácil de jogar, demonstrando que sua acessibilidade e dinâmica atendem bem às necessidades do público-alvo.

Os aspectos sonoros do jogo foram destacados positivamente, com elogios à diversão e à imersão proporcionadas pelos efeitos sonoros. Contudo, foi apontada uma oportunidade de melhoria no volume das vozes, que foram consideradas muito baixas, o que pode comprometer a experiência auditiva e a clareza das instruções.

A análise geral reforça que o jogo tem potencial para engajar e ensinar de maneira inclusiva, mas ajustes na intensidade do áudio das vozes podem aprimorar ainda mais sua

eficácia e usabilidade para o público-alvo.

Avaliação: P., deficiente visual (baixa visão), Ensino Superior Completo

O feedback fornecido por P., um adulto formado com baixa visão, evidenciou pontos positivos e áreas de melhoria no jogo educativo. Avaliou o jogo como fácil de entender e com imagens que possibilitavam alguém com baixa visão reconhecer caracteres e símbolos.

Os aspectos sonoros do jogo estavam implementados na medida certa e foram muito importantes para o fator diversão. Apontou que poderia realizar uma melhoria na parte de identificar quais botões devem ser utilizados em cada fase.

No geral, P. gostou bastante e ficou empolgado por mais fases no jogo.

Cronograma de execução

Tabela 2 – Cronograma de Atividades para 2024

Principais Atividades	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Submissão ao comitê de ética e aprovação					
Produção inicial do jogo					
Versão inicial do jogo					
Testes internos					
Correção de possíveis erros					
Teste inicial com crianças					
Implementação de melhorias propostas após os testes					
Apresentação final do jogo					

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES DO PROJETO DE FORMATURA

Após o fim desse trabalho, foi possível testar o jogo desenvolvido e implementar alguns dos feedbacks obtidos com os testes. A partir desses feedbacks, foi ajustado o volume da voz por meio do menu de áudio descrito na seção 5.2.6. Outro ajuste realizado após os testes foi a implementação da audiodescrição de quais teclas devem ser utilizadas em alguns menus e fases, de forma que ficasse mais claro o entendimento da mecânica do jogo. Ainda existem possíveis melhorias a serem feitas, por exemplo o controle do volume dos efeitos sonoros e das músicas de fundo em cada fase. No caso, essas melhorias não foram consideradas prioritárias porque os entrevistados ficaram satisfeitos com o volume desses sons, mas caso houvesse uma amostra maior de entrevistados, poderiam ter pessoas insatisfeitas com essa ausência de controle.

Em virtude da impossibilidade de obter uma amostra com o número considerável de participantes, foi adotada uma amostra de tamanho a mínimo de participantes previamente estabelecido. Com uma amostra de apenas 3 participantes, os resultados desta pesquisa devem ser interpretados com cautela. A limitação do tamanho da amostra se deve principalmente a indisponibilidade e dificuldade de encontrarem indivíduos que abrangem os requisitos e estejam dispostos a participar do teste. Os testes preliminares indicam que a ferramenta apresenta potencial para ensino, demonstrando ser acessível e eficaz em tarefas como reconhecimento de números, descrição visual e retorno sonoro. Esses achados preliminares sugerem a necessidade de futuras pesquisas com amostras maiores para confirmar os resultados e testar outras funcionalidades e desafios da ferramenta, podendo assim explorar o potencial da ferramenta em diferentes contextos.

6.2 CONTRIBUIÇÕES

Destaca-se como contribuição tecnológica da criação desse projeto, o desenvolvimento da ferramenta interativa de ensino a matemática em forma de jogo, A Jornada dos Números. Como forma de divulgar a ferramenta e o conhecimento gerado, a ferramenta será disponibilizada para uso pedagógico para as instituições Dorina Nowill e o Colégio Vicentino Padre Chico. Além disso, o código do projeto também poderá ser acessado por todos que tiverem interesse em conhecer a implementação feita.

6.3 PERSPECTIVAS DE CONTINUIDADE

Nessa seção, são descritos alguns tópicos que poderiam agregar o projeto futuramente, gerando assim pesquisas de graduação e pós graduação. As sugestões são:

1. Desenvolvimento de mais fases contendo novos tópicos de ensino a matemática ou até mesmo formas diferentes de ensinar os tópicos propostos nesse projeto;
2. Avaliação do impacto da ferramenta no ensino de crianças do sexto ano do ensino fundamental;
3. Realização de testes de acessibilidade com uma amostra maior de indivíduos para validar melhor hipóteses indicadas;
4. Evoluir o projeto na utilização de vozes variando tonalidade, velocidade e demais aspectos que possam ajudar a melhor compreensão do jogo;
5. Evoluir o modelo para abranger outras matérias de ensino ou para abordar um conteúdo de matemática mais avançado;
6. Desenvolver melhor a ferramenta para atender pessoas com outros tipos de deficiência, expandindo assim a base de possíveis usuários.

REFERÊNCIAS

- ANDRINI Álvaro. **Praticando Matemática: 5a série**. 8. ed. São Paulo: Editora do Brasil S/A, 1989.
- BACICH, L.; MORAN, J. **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática**. [S.l.]: Penso Editora Ltda., 2018.
- BARBOSA, S.; SILVA, B. **Interação Humano-Computador**. 1. ed. [S.l.]: Elsevier, 2010.
- BORBA, M. de C. **Fases das tecnologias digitais em Educação Matemática**. 3. ed. [S.l.]: Autêntica, 2020.
- BURTON, M. J. e. a. The lancet global health commission on global eye health: vision beyond 2020. **The Lancet Global Health**, v. 09, n. 4, 2021. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X\(20\)30488-5/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X(20)30488-5/fulltext). Acesso em: 28 nov.2024.
- DAP, D. A. P. Guia de Boas Práticas para Acessibilidade Digital. 1. ed. [S.l.]: Programa de Cooperação entre Reino Unido e Brasil em Acesso Digital, 2023.
- H ACKERMANN AL, T. N. J. R. Does blindness boost working memory? a natural experiment and cross-cultural study. **Front Psychol**, 2020.
- LUFT, R. S. O uso dos jogos digitais educacionais no processo ensino e aprendizagem nos anos iniciais. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**, Três Passos, Rio Grande do Sul, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12286/TCCE_ME_EaD_2017_LUFT_REJANE.pdf?sequence=1. Acesso em: 12 nov.2024.
- MIYAUCHI, H. A systematic review on inclusive education of students with visual impairment. **Education Sciences**, v. 10, n. 11, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7102/10/11/346>. Acesso em: 12 nov.2024.
- ORGANIZATION, W. H. **Blindness and vision impairment**. 2023. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>. Acesso em: 12 nov.2024.
- PACITTI, I. T. **PROJETO DOSVOX**. 2002. Disponível em: <https://intervox.nce.ufrj.br/dosvox/intro.htm>. Acesso em: 12 nov.2024.
- PAULO, G. do Estado de S. **Curriculo Paulista**. 2019. Disponível em: <https://efape.educacao.sp.gov.br/curriculopaulista/>. Acesso em: 12 nov.2024.
- SILVA, J. D. da; FERNANDES, V. dos S.; MABELINI, O. D. **Caderno do futuro**. 3. ed. São Paulo: IBEP, 2013.
- TURAN, Z. et al. Gamification and education: Achievements, cognitive loads, and views of students. **International Journal of Emerging Technologies in Learning**, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305493997_Gamification_

and_Education_Achievements_Cognitive_Loads_and_Views_of_Students. Acesso em: 07 dez.2024.

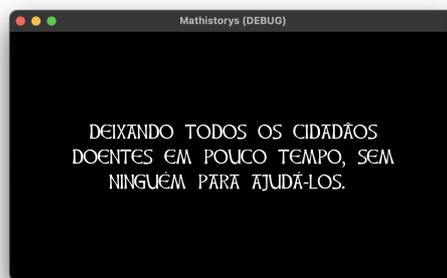
WITHAGEN, A. et al. Short term memory and working memory in blind versus sighted children. **Res Dev Disabil**, 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TELAS DE INTRODUÇÃO E HISTÓRIA



(a) Tela de entrada



(b) Uma das telas de história

Figura 14 – Imagens das telas

APÊNDICE B – TELAS DE INTRODUÇÃO



(a) Fase do Baú



(b) Fase da Balança



(c) Fase dos Porquinhos/das raposinhas

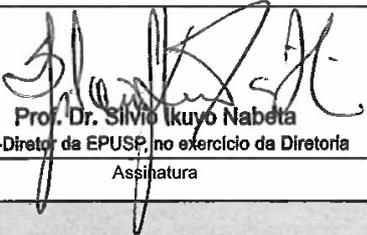
Figura 15 – Imagens das telas de Introdução



APÊNDICE C – DOCUMENTOS - PLATAFORMA BRASIL

MINISTÉRIO DA SAÚDE - Conselho Nacional de Saúde - Comissão Nacional de Ética em Pesquisa – CONEP

FOLHA DE ROSTO PARA PESQUISA ENVOLVENDO SERES HUMANOS

1. Projeto de Pesquisa: FERRAMENTA DE AUXÍLIO A DEFICIENTES VISUAIS UTILIZANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL			
2. Número de Participantes da Pesquisa: 5			
3. Área Temática:			
4. Área do Conhecimento: Grande Área 1. Ciências Exatas e da Terra , Grande Área 3. Engenharias			
PESQUISADOR			
5. Nome: GREGHORY DO AMARAL			
6. CPF: 416.864.028-05	7. Endereço (Rua, n.º): DOUTOR BARROS CRUZ,33 VILA MARIANA Apt 114B SAO PAULO SAO PAULO 04118130		
8. Nacionalidade: BRASILEIRO	9. Telefone: 11987438286	10. Outro Telefone:	11. Email: greghory.a@usp.br
Termo de Compromisso: Declaro que conheço e cumprirei os requisitos da Resolução CNS 466/12 e suas complementares. Comprometo-me a utilizar os materiais e dados coletados exclusivamente para os fins previstos no protocolo e a publicar os resultados sejam eles favoráveis ou não. Aceito as responsabilidades pela condução científica do projeto acima. Tenho ciência que essa folha será anexada ao projeto devidamente assinada por todos os responsáveis e fará parte integrante da documentação do mesmo.			
Data: <u>28</u> / <u>10</u> / <u>2024</u>		 Assinatura	
INSTITUIÇÃO PROPONENTE			
12. Nome: UNIVERSIDADE DE SAO PAULO	13. CNPJ: 63.025.530/0024-09	14. Unidade/Órgão:	
15. Telefone: (01) 1818-5146	16. Outro Telefone:		
Termo de Compromisso (do responsável pela instituição): Declaro que conheço e cumprirei os requisitos da Resolução CNS 466/12 e suas Complementares e como esta instituição tem condições para o desenvolvimento deste projeto, autorizo sua execução.			
Responsável: <u>Silvio I. Nabeta</u>	CPF: <u>064.369.638-55</u>		
Cargo/Função: <u>Vice-Diretor</u>	Prof. Dr. Silvio Ikuvo Nabeta Vice-Diretor da EPUSP, no exercício da Diretoria Assinatura		
Data: <u>14</u> / <u>10</u> / <u>2024</u>			
PATROCINADOR PRINCIPAL			
Não se aplica.			

ANEXOS

ANEXO A – ASSETS UTILIZADOS NO JOGO

<https://speechgen.io> (voz gerada por IA utilizada nas fases dos animais)

<https://craftpix.net/freebies/free-summer-pixel-art-backgrounds> (imagens de fundo presentes nas fases dos animais)

<https://comigo.itch.io/farm-puzzle-animals> (imagens dos animais)

<https://craftpix.net/freebies/free-underwater-world-2d-game-objects/> (imagens do baú)

<https://www.freepik.com/free-vector/set-handdrawn-wizards-cooking-potion-scaring-skulls-using-c29082855.htm#fromView=author&page=1&position=6&uuid=01c9dbf2-b9c3-4c49-947c-162d2f4ee973> (professor mago)

<https://ttsmp3.com/text-to-speech/Brazilian%20Portuguese/> (voz gerada por IA para introdução e história)

<https://shikashipx.itch.io/shikashis-fantasy-icons-pack> (ícones jogo da balança)