

CAIXA DE AREIA DE REALIDADE AUMENTADA (SARNDBOX) DA TEORIA À PRÁTICA NO ENSINO DE RECURSOS HÍDRICOS



**KARINNY XAVIER DA SILVA
RAFAEL ALVES DUMER
IBRAIM FANTIN-CRUZ**

CAIXA DE AREIA DE REALIDADE AUMENTADA (SARNDBOX) DA TEORIA À PRÁTICA NO ENSINO DE RECURSOS HÍDRICOS



**KARINNY XAVIER DA SILVA
RAFAEL ALVES DUMER
IBRAIM FANTIN-CRUZ**

2025 by Atena Editora

Copyright © 2025 Atena Editora

Copyright do texto © 2025, o autor

Copyright da edição © 2025, Atena Editora

Os direitos desta edição foram cedidos à Atena Editora pelo autor.

Open access publication by Atena Editora

Editora chefe

Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira Scheffer

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Yago Raphael Massuqueto Rocha



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

A Atena Editora tem um compromisso sério com a transparência e a qualidade em todo o processo de publicação. Trabalhamos para garantir que tudo seja feito de forma ética, evitando problemas como plágio, manipulação de informações ou qualquer interferência externa que possa comprometer o trabalho.

Se surgir qualquer suspeita de irregularidade, ela será analisada com atenção e tratada com responsabilidade.

O conteúdo do livro, textos, dados e informações, é de responsabilidade total do autor e não representa necessariamente a opinião da Atena Editora. A obra pode ser baixada, compartilhada, adaptada ou reutilizada livremente, desde que o autor e a editora sejam mencionados, conforme a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Cada trabalho recebeu a atenção de especialistas antes da publicação. A equipe editorial da Atena avaliou as produções nacionais, e revisores externos analisaram os materiais de autores internacionais.

Todos os textos foram aprovados com base em critérios de imparcialidade e responsabilidade.

CAIXA DE AREIA DE REALIDADE AUMENTADA (SANDBOX): DA TEORIA À PRÁTICA NO ENSINO DE RECURSOS HÍDRICOS

| Autores:

Karinny Xavier da Silva
Ibraim Fantin-Cruz

Rafael Alves Dumer

| Revisão:

Os Autores

| Diagramação:

Nataly Gayde

| Capa:

Yago Raphael Massuqueto Rocha

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C138 Silva, Karinny Xavier da
Caixa de areia de realidade aumentada (SARND BOX):
da teoria à prática no ensino de recursos hídricos /
Karinny Xavier da Silva, Rafael Alves Dumer, Ibraim
Fantin-Cruz. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-4044-4

DOI <https://doi.org/10.22533/at.ed.444262602>

1. Realidade aumentada. 2. Recursos hídricos. I.
Silva, Karinny Xavier da. II. Dumer, Rafael Alves. III.
Fantin-Cruz, Ibraim. IV. Título.

CDD 333.91

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

+55 (42) 3323-5493

+55 (42) 99955-2866

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

CONSELHO EDITORIAL

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Ariadna Faria Vieira – Universidade Estadual do Piauí
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Cláudio José de Souza – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Prof. Dr. Joachin de Melo Azevedo Sobrinho Neto – Universidade de Pernambuco
Prof. Dr. João Paulo Roberti Junior – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Juliana Abonizio – Universidade Federal de Mato Grosso
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof. Dr. Sérgio Nunes de Jesus – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

AGRADECIMENTOS

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Marcel Medinas de Campos (egresso do PPGRH/UFMT), pela apresentação da ferramenta e pela demonstração de seu potencial de aplicação no ensino. À Stéfani Caroline Antunes Santana (egressa do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMT), pelo pioneirismo na construção do primeiro protótipo da Caixa de Areia de Realidade Aumentada e pela condução das primeiras atividades de formação junto às escolas. Ao Professor Vagner Paz Mengue, cuja experiência e apoio foram essenciais nos passos iniciais de configuração da SARndbox, contribuindo para a consolidação da ferramenta. Agradecemos também ao Ministério Público do Estado de Mato Grosso, em especial à Promotoria de Justiça de Chapada dos Guimarães, representada pelo promotor Leandro Volochko, que reconheceu a relevância do projeto como ferramenta transformadora para a compreensão dos recursos hídricos e viabilizou a construção de uma estrutura moderna, tecnológica e móvel, possibilitando a realização de ações em diversos municípios da Região Hidrográfica do Paraguai. Ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Sepotuba, pelo apoio e pela visão estratégica ao incorporar a ferramenta como instrumento de educação ambiental, mostrando de forma prática o funcionamento de uma bacia hidrográfica e o papel dos Comitês na gestão das águas, especialmente junto às escolas rurais. Finalmente, nosso agradecimento a todas as escolas que abriram suas portas, e aos professores e estudantes que nos receberam com entusiasmo, carinho e grande interesse. A participação ativa de cada um foi fundamental para a consolidação e o fortalecimento deste projeto.

PREFÁCIO

PREFÁCIO

Como membros do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Sepotuba, temos grande satisfação em apresentar esta obra sobre a Caixa de Areia de Realidade Aumentada (SARndbox). Prepare-se para desvendar o potencial dessa ferramenta inovadora, capaz de transformar uma simples caixa de areia em um mapa vivo, onde rios, formas de relevo e fenômenos hidrológicos se interligam de maneira dinâmica ao ciclo da água.

Os autores Karinny Xavier da Silva, Rafael Alves Dumer e Ibraim Fantin-Cruz elaboraram um guia completo, que capacita cada leitor a se tornar um verdadeiro arquiteto da natureza. A SARndbox convida crianças, jovens e adultos a moldar o relevo, criar vales, simular a precipitação e acompanhar o escoamento da água, proporcionando uma experiência que integra ciência, ludicidade e descoberta.

O Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Sepotuba apoiou a construção dessa caixa de areia interativa por acreditar que a educação é um dos caminhos mais eficazes para a promoção da conservação dos recursos hídricos. Aqui, cada punhado de areia define o relevo; cada cor projetada representa um fenômeno hidrológico; e cada interação se transforma em uma oportunidade de compreender como nossas ações influenciam o meio ambiente.

Que este livro sirva não apenas como um guia técnico, mas também como um convite irresistível para explorar, tocar, criar e aprender com a água. Que a curiosidade das novas gerações continue moldando — na caixa de areia e na vida real — uma relação cada vez mais consciente, responsável e protetora com as nossas bacias hidrográficas.

Lauro Roque Soccoloski

Secretário Executivo do CBH Sepotuba

Leticia Barbosa de Freitas

Membra do CBH Sepotuba

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

A crescente demanda por metodologias capazes de tornar o ensino de recursos hídricos mais acessível, dinâmico e significativo tem motivado a busca por ferramentas inovadoras que aproximem os estudantes dos processos que compõem a dinâmica hidrológica. Nesse contexto, a Caixa de Areia de Realidade Aumentada (SARndbox) representa uma promissora alternativa tecnológica já incorporada ao ambiente educacional. Esta obra oferece ao leitor um panorama abrangente sobre sua implementação, uso e potencial pedagógico, estabelecendo um elo entre teoria, prática e tecnologia.

O livro apresenta de forma clara e detalhada todas as etapas de construção da SARndbox — da montagem física do equipamento à calibração dos componentes digitais, incluindo sensor Kinect, projetor e software. Trata-se de um guia técnico, ao mesmo tempo, mantém uma narrativa acessível a docentes, técnicos, estudantes e pesquisadores interessados na interface entre hidrologia e inovação educacional.

Além da ênfase técnica, a obra revela a aplicação pedagógica da ferramenta. A simulação interativa de bacias hidrográficas, escoamento superficial, infiltração e demais fenômenos hidrológicos transforma a aprendizagem em uma experiência concreta, intuitiva e envolvente. Os estudos conduzidos em escolas públicas, relatados ao longo da obra, evidenciam esse impacto: os estudantes interagiram de forma ativa com os cenários simulados, alcançando níveis elevados de engajamento e atenção, inclusive em temas tradicionalmente abstratos no ensino formal.

Ao entregar um guia completo, técnico, aplicado e reflexivo, esta obra contribui significativamente para o avanço da educação em recursos hídricos, oferecendo ao leitor não apenas um manual de implementação, mas uma visão integrada sobre as possibilidades da realidade aumentada como aliada no processo de ensino-aprendizagem. Trata-se de uma leitura essencial para educadores, pesquisadores e profissionais comprometidos com inovação, sustentabilidade e formação crítica das novas gerações.

SUMÁRIO

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo Geral	2
2.2 Objetivos Específicos	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1 Realidade Aumentada.....	3
3.2 A Realidade Aumentada Na Educação	3
3.3 SARndbox	5
3.4 Sensor Kinect	5
3.5 LINUX.....	6
4. METODOLOGIA	7
4.1 Aplicação Como Mecanismo Educacional.....	8
4.2 Confeção Da Estrutura Caixa De Areia de Realidade Aumentada	10
5. DESENVOLVIMENTO	13
Manual de Instalação, Configuração e Uso da SARndbox.....	13
5.1 Instalação Do Software.....	13
5.1.1 Download e Instalação do SARndbox	13
5.1.2 Instalação do Driver NVIDIA	13
5.1.3 Instalação do VRUI VR	14
5.1.4 Instalação do Pacote do Kinect	14
5.1.5 Instalação do SARndbox	15
5.1.6 Configuração do Kinect	15
5.1.7 Alinhamento do Kinect	15
5.1.8 Determinação da Equação do Plano Base da Caixa de Areia.....	16

SUMÁRIO

SUMÁRIO

5.1.9 Medição Das Posições Dos Cantos Da Caixa De Areia	17
5.1.10 Alinhamento do Projetor	19
5.1.11 Calibração do Projetor e Kinect.....	20
5.1.12 Execução do SARndbox.....	20
5.1.13 Criação De Um Ícone Na Área De Trabalho Para Iniciar o SARndbox.....	22
5.1.14 Comandos do SARndbox.....	23
6. RESULTADOS.....	28
6.1 Prática 1 - Simulação De Uma Bacia Hidrográfica.....	28
6.2 Prática 2 - Simulação De Fluxo De Água.....	29
6.3 Prática 3 - Simulação de Desastres Ambientais	30
6.4 Aplicação.....	31
7. DISCUSSÕES	34
8. CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
SOBRE OS AUTORES	40



1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade até os dias atuais, o ser humano tem utilizado sua capacidade de raciocínio e criatividade para desenvolver novos conhecimentos e impulsionar a evolução da sociedade. Cada período histórico trouxe descobertas fundamentais que contribuíram para o progresso coletivo. Nesse contexto, a tecnologia tem se consolidado como uma poderosa aliada nesse processo, desempenhando um papel transformador na educação ambiental ao tornar o aprendizado mais dinâmico, interativo e significativo (AYER et al., 2016).

É nesse cenário de inovação educacional que ferramentas como a Caixa de Areia de Realidade Aumentada (SARndbox) ganham destaque, possibilitando não apenas a visualização, mas também a interação prática com conceitos complexos, como escoamento superficial e formação de bacias hidrográficas (SOLTIS et al., 2020). Ao permitir que os estudantes modelem o relevo e observem em tempo real como suas alterações influenciam o comportamento da água, a SARndbox oferece uma resposta visual imediata, transformando teorias abstratas em experiências concretas e elevando o engajamento e a compreensão dos discentes.

No entanto, a adoção dessa tecnologia no Brasil ainda enfrenta obstáculos, particularmente pela escassez de documentação técnica em português sobre sua implementação. Como apontam Tori e Hounsell (2018), a ausência de manuais específicos dificulta a replicação do sistema em instituições de ensino. Essa lacuna torna-se ainda mais evidente quando consideramos as particularidades do hardware necessário, como o sensor Kinect 1.0 e a obrigatoriedade de configuração em sistemas baseados em Linux, que demandam conhecimentos especializados para instalação e calibração.

Metodologicamente, a pesquisa apresenta uma documentação sistemática de todas as etapas de instalação e na avaliação de sua aplicação em ambientes educacionais reais e propostas para viabilização da implementação. Seguindo as recomendações de Bacca et al. (2014) para estudos de tecnologias educacionais, buscou não apenas avaliar a eficácia da ferramenta em contextos reais de aprendizagem, mas também fornecer um roteiro detalhado que permita a replicação do projeto por outras instituições de ensino.



2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Implementar e avaliar o SARndbox como ferramenta educacional para estudo de recursos hídricos, documentando seu processo de instalação e aplicação em contextos reais.

2.2 Objetivos Específicos

- Documentar e descrever o processo de instalação e configuração dos softwares necessários para o funcionamento do SARndbox, instruindo detalhadamente sobre como baixar, instalar e configurar, garantindo um ambiente adequado para a execução das simulações.
- Demonstrar comandos do SARndbox aplicados a cenários simulados para facilitar o ensino de recursos hídricos.
- avaliar a eficácia da ferramenta, discutindo como a interação com o software pode melhorar a compreensão de temas ambientais, como o gerenciamento de água e a educação sobre recursos hídricos.
- Apresentar propostas para a viabilização e utilização da tecnologia.



3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada (RA) é um desenvolvimento explorado há séculos. Segundo Tori e Hounsell (2018), já no século XVII, espelhos, lentes e iluminação foram usados para criar ilusões de realidade, como refletir imagens de objetos e pessoas ausentes. Com o avanço tecnológico, a RA passou a ser gerada por computadores e celulares, o que permitiu integrar elementos virtuais ao ambiente físico de modo interativo. Essa modernização impulsionou progressos importantes no aprimoramento de hardware e software, principalmente na produção de imagens digitais. O desenvolvimento da RA está ligado diretamente ao aprimoramento desses componentes, que visam aperfeiçoar a precisão e a qualidade de visualização, para torná-la mais imersiva e realista (TORI et al., 2018).

Ao combinar elementos virtuais com o ambiente físico, a RA facilita a sobreposição de informações digitais, com imagens ou gráficos 3D, ao ambiente em tempo real. Diferentemente da Realidade Virtual (RV), que cria um ambiente totalmente imersivo e isolado, a RA mantém o usuário conectado ao mundo real, enriquecendo sua percepção com objetos virtuais (TORI et al., 2018). Essa integração é possível graças ao uso de dispositivos como smartphones, tablets, óculos especiais, headsets ou sensores de movimento, como o Kinect, que capturam o ambiente e processam as informações em tempo real.

Nesse contexto, a RA complementa o mundo real, ao colocar elementos virtuais que enriquecem a aprendizagem e facilitar a compreensão de cenários da realidade, proporcionando benefícios a diversas áreas do conhecimento, incluindo a educação, devido à sua vasta gama de possíveis aplicações.

3.2 A Realidade Aumentada Na Educação

A Realidade Aumentada (RA) tornou-se uma ferramenta tecnológica cada vez mais importante nas escolas. Estudos como os de Ayer et al. (2016) e Manrique-Juan et al. (2017) demonstram que a RA aumenta o interesse e a atenção em atividades

educacionais, com aplicações em áreas como ciências e engenharia. Outras pesquisas, como as de Bacca et al. (2014) e Gomes et al. (2024), reforçam essa perspectiva, destacando sua eficácia no aprendizado multidisciplinar. Essa tecnologia transforma ideias difíceis de imaginar em algo mais real e dinâmico, o que leva a entender melhor e a participar mais ativamente.

Além de tornar o aprendizado mais acessível, a RA na educação está de acordo com o que o século XXI precisa, como desenvolver a criatividade, o raciocínio crítico e a capacidade de trabalhar em equipe. GOMES et al., (2024), argumentam que essa tecnologia transforma o modo de ensinar e aprender, oferecendo experiências que prendem a atenção e incentivam a participação. Dessa forma, a tecnologia não apenas facilita a compreensão de conceitos complexos, mas também promove um aprendizado mais significativo e colaborativo.

Entretanto, a implementação da RA na educação enfrenta desafios. A falta de infraestrutura tecnológica, o custo alto dos aparelhos e a necessidade de capacitar os professores são grandes obstáculos (AKÇAYIR; AKÇAYIR, 2017). Além disso, é essencial planejar o uso da RA para que ela ajude e não substitua os métodos tradicionais de ensino. Verificar sempre o impacto da RA no aprendizado é necessária para garantir que os objetivos da educação sejam alcançados (BACCA et al., 2014).

Diante desses desafios, algumas soluções vêm sendo propostas para viabilizar o uso da RA no ensino. Uma alternativa é o investimento em softwares acessíveis e de código aberto, que reduzem custos e permitem maior flexibilidade na aplicação da tecnologia. Além disso, programas de capacitação para professores são essenciais para que saibam integrar a RA ao currículo de forma eficiente (BORBOREMA; MAURÍCIO, 2024). Parcerias entre instituições de ensino, governos e empresas de tecnologia também podem ajudar a expandir o acesso a dispositivos de RA, garantindo que um maior número de estudantes possa usufruir dessa inovação no aprendizado.

Além disso, é preciso destacar que uma das principais funções da educação é aumentar e fortalecer a vontade dos alunos de continuarem a aprender durante a vida. Para incentivar essa motivação, os educadores devem incluir ferramentas, como a RA, que permitem aos estudantes explorar, manipular e mergulhar nos assuntos estudados. Essas características não apenas aumentam a compreensão dos temas abordados, mas também elevam o entusiasmo e o envolvimento dos estudantes com a prática educacional, tornando o processo de aprendizagem mais dinâmico (COWIN, 2020).

3.3 SARndbox

O SARndbox, foi desenvolvido pela Universidade da Califórnia em Davis (UC Davis), como resultado de um projeto que busca ensinar conceitos de ciências da terra, financiado pela Fundação Nacional de Ciência (REED et al., 2014). O sistema é composto por uma caixa de areia, projetor, sensor de movimento (Microsoft Kinect 3D) e um computador, que trabalham em conjunto para criar um mapa topográfico dinâmico. Ao manusear a areia, o usuário pode visualizar, em tempo real, as modificações do relevo, permitindo a criação de novos cenários interativos e proporcionando uma experiência imersiva (REED et al., 2014).

Quando lançado em 2012 pela UC Davis, o SARndbox teve sua primeira aplicação em museus (KREYLOS et al., 2016). Segundo dados do site oficial do projeto (UCDAVIS, 2023), atualmente mais de 150 instituições educacionais e de pesquisa utilizam a ferramenta, incluindo universidades e museus.

A manipulação ocorre pelo uso direto das mãos e do corpo ou com auxílios de um dispositivo de interação, como as câmeras de reconhecimento de movimento (Kinect). Nesse contexto, o SARndbox se destaca como uma ferramenta inovadora ao combinar tecnologia com uma experiência prática, tornando o processo do ensino mais dinâmico e envolvente (MIRZA et al., 2025).

Em 2021, foi estabelecida a Rede SARndbox Brasil, composta por dez instituições de ensino superior e tecnológico que compartilham conhecimento técnico e experiências sobre a aplicação da realidade aumentada na educação ambiental (SANTANA, 2024). Essa iniciativa tem como objetivo promover a troca de conhecimentos e recursos entre as universidades brasileiras que já utilizam a tecnologia em suas atividades acadêmicas. A ferramenta apresenta um significativo potencial para o ensino de hidrologia, cuja exploração sistemática está em fase inicial, devendo ser conduzida com metodologia científica adequada.

3.4 Sensor Kinect

O Kinect é um sensor de movimentos, adquirido e licenciado pela Microsoft, recebeu o lançamento oficial em 4 de novembro de 2010 como um acessório para o console de jogos do Xbox 360 (WERBER, 2011). Segundo Alvarega, Correa e Osório (2012), o Kinect oferece uma Interface Natural de Usuário (Natural User Interface – NUI) para interação com recursos de reconhecimento de voz, gestos e expressões faciais. O Kinect trouxe uma nova abordagem em relação à interação em jogos, tirando a necessidade de controles físicos com a tecnologia de leitura de movimentos (GALVÃO; SOUZA, 2020).

Logo após o lançamento, pesquisadores e entusiastas perceberam que a tecnologia de detecção de profundidade do Kinect poderia ser usada em outros contextos além dos jogos, como em projetos de robótica, saúde e educação, gastando bem menos do que câmeras 3D tradicionais (FONSECA; BARBOSA; GIANGIARDI, 2023). A Microsoft chamou esse impacto de “Efeito Kinect” e, em fevereiro de 2012, lançou um Software Development Kit (SDK) para Windows, permitindo que desenvolvedores explorassem todos os recursos do dispositivo de forma mais acessível (PROETTI; DEL VECHIO, 2020).

O Kinect é composto por um sensor de profundidade, que inclui um emissor de laser infravermelho e uma câmera infravermelha, além de uma câmera colorida e um conjunto de microfones. Esses componentes possibilitam a captura precisa de movimentos, incorporando uma tecnologia que confere maior naturalidade e fluidez às interações em ambientes tridimensionais. O sistema integra de forma harmoniosa o rastreamento corporal e a manipulação de objetos virtuais, caracterizando-se como uma ferramenta versátil com ampla aplicabilidade em diferentes contextos (PROETTI; DEL VECHIO, 2020).

3.5 LINUX

Um Sistema Operacional (SO) é essencial para o funcionamento de computadores, gerenciando recursos como processador, memória e dispositivos de entrada e saída. O núcleo (Kernel) é o componente central de um SO, responsável pelas funções de comunicação de hardware (MAZIEIRO, 2019). O Linux, criado por Linus Torvalds, teve sua primeira versão do Kernel lançada em 17 de setembro de 1991. Desde então, ele vem sendo aprimorado por uma comunidade global de desenvolvedores e é distribuído sob a Licença Pública Geral (GPL), que permite que qualquer pessoa use, modifique e redistribua o código-fonte, desde que respeite os termos da licença (RED HAT, 2021).

O Linux é conhecido por sua flexibilidade, permitindo a criação de diversas distribuições, cada uma com características específicas. Possui muitas variantes e algumas das mais populares incluem Ubuntu, Kali Linux, Debian, Fedora e Linux Mint (KIDWAI; et al, 2021). Essas distribuições atendem a diferentes necessidades, desde uso doméstico até aplicações empresariais.



4. METODOLOGIA

Este trabalho adotou uma abordagem técnica e descritiva para a implementação do sistema SARndbox, com foco nos processos de instalação e configuração. A metodologia foi dividida em duas etapas principais, visando garantir a reprodutibilidade do sistema e sua documentação completa.

A primeira etapa consistiu na configuração do ambiente técnico necessário para o funcionamento do sistema. Inicialmente, realizou-se a preparação do sistema operacional através da instalação do Linux Mint MATE na versão 64 bits, seguida da configuração adequada dos repositórios e dependências básicas. Em seguida, procedeu-se com a instalação dos componentes de software essenciais, incluindo os drivers proprietários NVIDIA (obtidos via gerenciador de drivers), o pacote VRUI VR (instalado através do script Build-Ubuntu.sh), o SDK do Kinect na versão 3.10 e o software SARndbox na versão 2.8.

O processo de configuração do sistema envolveu três operações principais: a calibração do sensor Kinect utilizando a ferramenta RawKinectViewer, o ajuste preciso do projetor mediante comandos específicos de alinhamento e a configuração dos parâmetros do sistema no arquivo BoxLayout.txt. Cada uma dessas etapas foi cuidadosamente executada para garantir o perfeito funcionamento do conjunto.

A segunda etapa do trabalho dedicou-se à documentação sistemática de todo o processo de implementação. Esta fase incluiu o registro minucioso de todos os comandos executados, a captura de telas em momentos-chave do processo e a elaboração de um manual técnico abrangente. O manual desenvolvido contém informações essenciais como os requisitos mínimos do sistema, soluções para problemas comuns e uma lista completa de comandos e atalhos.

Para validar a implementação, foram realizados testes técnicos rigorosos que avaliaram diversos aspectos do sistema: a estabilidade após a instalação, o tempo de resposta às alterações na superfície da areia, a precisão na projeção das curvas de nível e a eficácia na resolução de problemas técnicos identificados durante o processo.

4.1 Aplicação Como Mecanismo Educacional

Durante a atividade do Dia Mundial da Água em março de 2025, os alunos participaram ativamente do processo de aprendizado, moldando a superfície da caixa de areia para representar características do mundo real. Os temas abordados incluíram a bacia hidrográfica, feições do relevo, ciclo hidrológico, formas de uso e ocupação da terra, os quais foram detalhados em um panfleto educativo com o objetivo de reforçar o conhecimento (Figuras 1 e 2).



Figura 1 - Panfleto educativo distribuído aos alunos (frente): conceitos de bacia hidrográfica e ciclo hidrológico

Fonte: Autora (2025). Adaptado de Santana (2024).



Figura 2 - Panfleto educativo (verso): atividades práticas realizáveis com a Caixa de Areia de Realidade aumentada

Fonte: Autora (2025). Adaptado de Santana (2024).

Foram visitadas a Escola Estadual Reinaldo Dutra Vilarinho (rural) - Localizada em Nova Olímpia-MT, com 49 alunos do ensino fundamental e a Escola Municipal 1º de Maio - Localizada em Nova Marilândia-MT, com 73 alunos do ensino fundamental.

Posteriormente, para demonstrar a aplicabilidade da Caixa de Areia de Realidade Aumentada foram ministrados conceitos como relevo, ciclo hidrológico e formação de bacias, fornecendo uma base teórica essencial. Essa abordagem visou prepará-los para a interação com a caixa, permitindo a observação e compreensão dos processos hidrológicos de forma dinâmica (Figura 3).



Figura 3 - Apresentação de conceitos teóricos que serão demonstrados na prática

Fonte: Autora (2025)

Para medir o envolvimento dos alunos durante as atividades com a caixa de areia, foram registrados o número de participantes e o tempo que permaneceram interagindo com o equipamento. Após a explicação dos conceitos, grupos de cinco alunos eram convidados a utilizar a caixa de areia, sem obrigatoriedade de participação. Cada grupo tinha até três minutos para explorar a ferramenta. Ao final, foi contabilizado quantos alunos aceitaram o convite e quantos permaneceram até o término do tempo estipulado.

4.2 Confecção Da Estrutura Caixa De Areia de Realidade Aumentada

Os materiais utilizados para montagem foram:

- 1 caixa de acrílico de 10 mm de espessura
- 2 colunas de alumínio com 200 cm com 3 mm de espessura
- 2 barras internas
- 4 parafusos borboletas
- 10 parafusos, 10 porcas e 10 arruelas
- 100 quilos de areia

O projeto da estrutura da caixa de areia consistiu na confecção de 2 colunas metálicas e 2 barras metálicas móveis, com as dimensões da Figura 4.

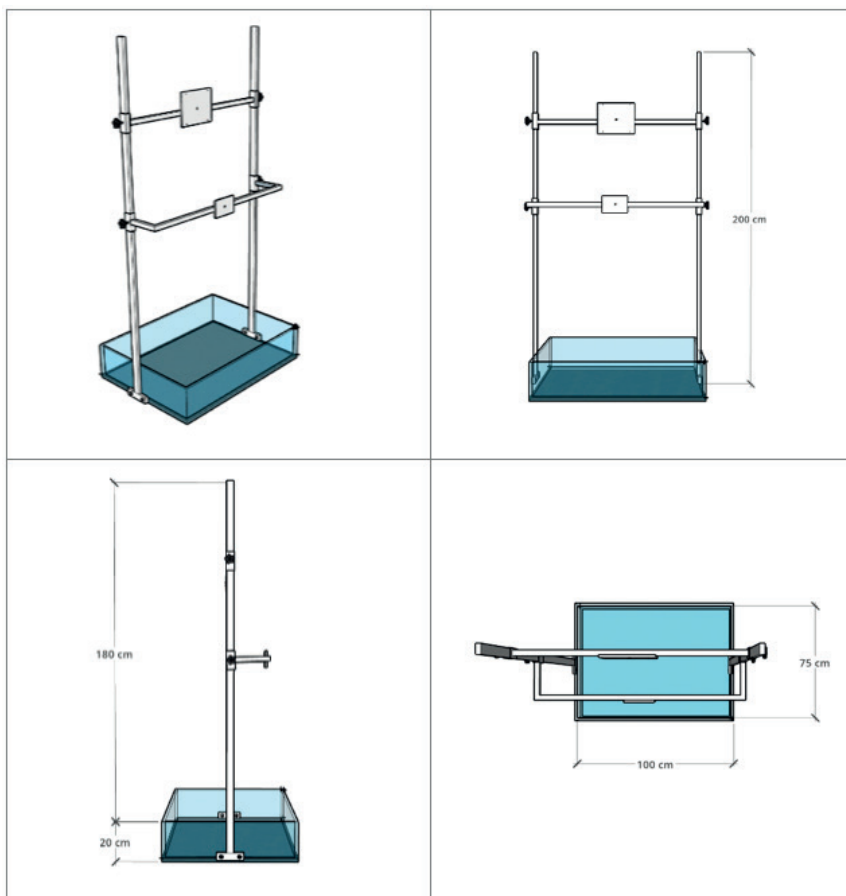


Figura 4 - Projeto da estrutura física da Caixa de Areia de Realidade Aumentada, com dimensões e componentes.

Fonte: Autora (2024).

O sistema de fixação foi implementado com duas placas metálicas de 1 mm de espessura: uma de 230×190 mm para o projetor e outra de 150×100 mm para o sensor Kinect. O projetor foi fixado na sua respectiva placa com parafuso, mas devido à falta de furos no Kinect para fixação, tornou-se necessário a colocação de 2 abraçadeiras de nylon, conforme mostrado na figura 6.

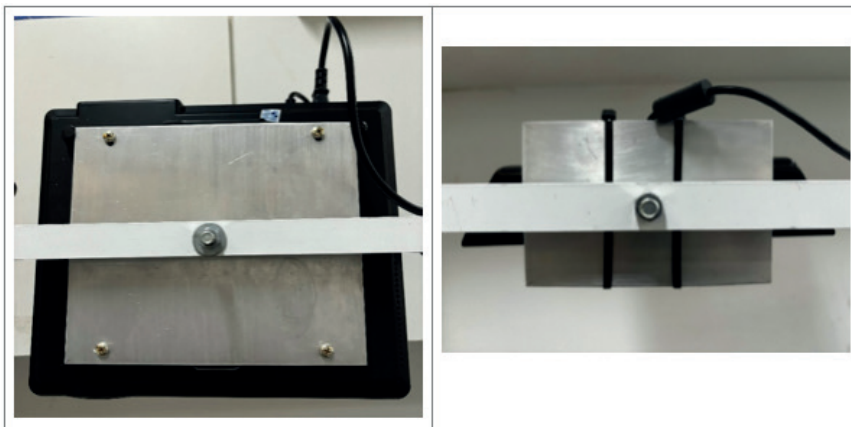


Figura 5 - Fixação do projetor (esquerda) e do Kinect com abraçadeiras de nylon (direita)

Fonte: Autora (2025).

Na caixa foram utilizados 10 centímetros de profundidade de areia de filtro de piscina, devido às suas características físicas, que facilita a modelagem do relevo e aumenta precisão na detecção topográfica pelo sensor Kinect.

Para fabricação da caixa, escolheu-se o acrílico transparente de 10 mm de espessura, com dimensões de 75 cm de comprimento x 10 cm de largura x 20 cm de altura. Para fixação das peças metálicas, utilizou-se parafusos, porcas e arruelas, como ilustrado na Figura 6.



Figura 6 - Fixação da estrutura metálica

Fonte: Autora (2025).



5. DESENVOLVIMENTO

Manual de Instalação, Configuração e Uso da SARndbox

5.1 Instalação Do Software

Para instalação do software da Caixa de Areia é necessário que o Sistema Operacional do computador seja o Linux, pois não funciona em outros tipos de Sistemas Operacionais.

5.1.1 Download e Instalação do SARndbox

Requisitos do Sistema:

- I Sistema Operacional: Linux (preferencialmente Linux Mint 19.3 (Tricia), versão MATE de 64-bit)
- I Processador: Intel Core i5 ou superior
- I Placa de Vídeo: NVIDIA GeForce GTX 970 ou superior
- I Memória RAM: 2GB no mínimo
- I Espaço em Disco: Pelo menos 20GB
- I Dispositivos Necessários: Sensor Kinect 1.0 e Projetor com resolução 1024x768 pixels.

Download do Software:

- I O SARndbox é um software de código aberto desenvolvido pela Universidade da Califórnia, Davis (UC Davis).
- I O pacote pode ser obtido no link oficial: <https://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/>

5.1.2 Instalação do Driver NVIDIA

Para instalar o Driver NVIDIA, deve-se abrir o menu do sistema e pesquisar por “Gerenciador de Drivers”. Após esperar o painel carregar, o usuário deverá selecionar a opção recomendada e clicar em “Aplicar Alterações”. O sistema realizará o download e instalação do driver automaticamente. Para verificar se o driver foi instalado corretamente, deve-se abrir uma janela de terminal e digitar:

```
glxinfo | grep vendor
```

Se estiver tudo certo, deverá aparecer o seguinte comando:

```
server glx vendor string: NVIDIA Corporation
client glx vendor string: NVIDIA Corporation
OpenGL vendor string: NVIDIA Corporation
```

5.1.3 Instalação do VRUI VR

Para instalar o VRUI VR, deve-se digitar no terminal o seguinte comando:

```
cd ~
wget http://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/Vrui/Build-Ubuntu.sh
bash Build-Ubuntu.sh
```

O Linux solicitará a senha de usuário. Após inserir a senha, será apresentada uma pergunta confirmando a instalação dos pacotes necessários. Deve-se aguardar a conclusão do processo. Quando a instalação for finalizada, automaticamente irá surgir uma janela na tela com um globo terrestre girando. Essa janela pode ser fechada.

5.1.4 Instalação do Pacote do Kinect

Para instalação do pacote do Kinect, deve-se seguir os seguintes passos no terminal:

```
cd ~/src wget http://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/Kinect/Kinect-3.10.tar.gz tar xzf Kinect-3.10.tar.gz
cd Kinect-3.10
make
sudo make install
sudo make installudevrules
```

Para verificar se a instalação foi realizada corretamente, execute:

```
ls /usr/local/bin
```

Certifique-se de que os arquivos KinectUtil e RawKinectViewer estão na lista de arquivos exibida. Caso contrário, revise o processo de instalação.

5.1.5 Instalação do SARndbox

Para instalar o SARndbox é necessário inserir os seguintes comandos no terminal:

```
cd ~/src
Wget http://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/SARndbox
2.8.tar.gz tar xfz SARndbox-2.8.tar.gz
cd SARndbox-2.8
make
ls ./bin
```

Certifique-se de que os arquivos CalibrateProjector, SARndbox, e SARndboxClient estão na lista de arquivos exibida.

5.1.6 Configuração do Kinect

Com o Kinect devidamente conectado ao computador, execute o seguinte comando no terminal para realizar a calibração:

```
sudo /usr/local/bin/KinectUtil getCalib 0
```

Será solicitada a senha do usuário. Após inseri-la, o processo de calibração será iniciado.

5.1.7 Alinhamento do Kinect

Nesta etapa, é necessário verificar se a câmera do Kinect está captando toda superfície da caixa de areia. Para iniciar o processo, digite no terminal:

```
cd ~/src/SARndbox-2.8 RawKinectViewer -compress 0
```

Esse comando inicia a aplicação, cuja interface é ilustrada na Figura 7.

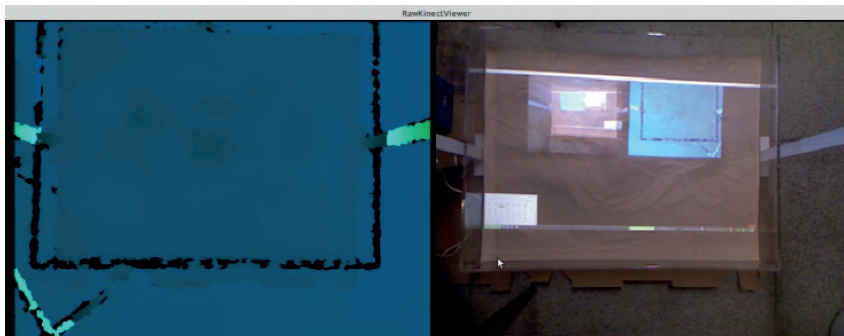


Figura 7 - Interface da Ferramenta RawKinectViewer

Fonte: Autora (2025).

Na interface, são exibidas duas imagens simultaneamente. Se o sensor estiver posicionado corretamente, a imagem à esquerda será gerada pelo RawKinectViewer, enquanto à direita será exibida a captura da câmera do sensor, que deve mostrar a caixa de areia.

5.1.8 Determinação da Equação do Plano Base da Caixa de Areia

Para determinar a equação do plano base da caixa de areia, maximize a tela da imagem anterior. Em seguida, pressione o botão direito do mouse sobre a imagem, mantendo o botão pressionado. Mova o cursor até "Average Frames", conforme a Figura 8, e solte o botão do mouse.

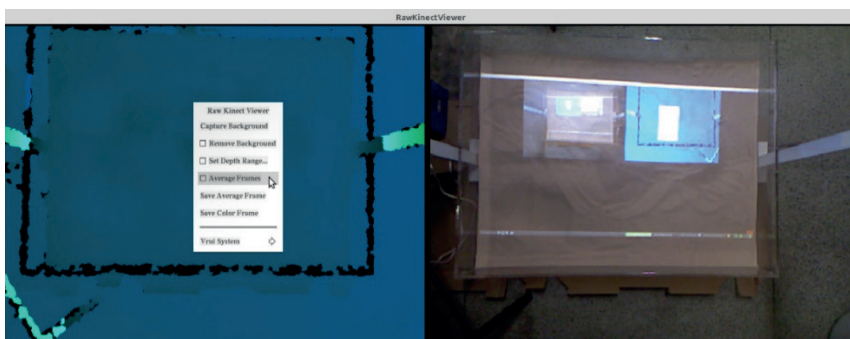


Figura 8 – Seleção da função "Average Frames" na interface do RawKinectViewer

Fonte: Autora (2025).

Após a tela ficar estática, mantenha pressionada a tecla F e, com o cursor do mouse, mova até a opção “Extract Plane”. Em seguida, solte a tecla. No canto superior esquerdo da tela, pressione novamente a tecla F e, movendo o cursor até o canto inferior direito da tela, forme um retângulo automático (Figura 9).

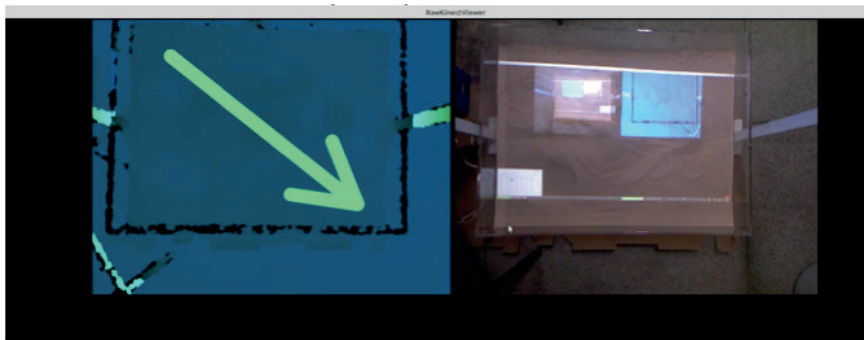


Figura 9 - Direção do movimento do cursor durante a seleção da área para determinação do plano base

Fonte: Autora (2025).

5.1.9 Medição Das Posições Dos Cantos Da Caixa De Areia

Para medir as posições dos cantos da caixa de areia, pressione sem soltar a tecla P. Em seguida, posicione o cursor sobre “Measure 3D Positions” no menu que aparecerá na tela e solte a tecla P. O próximo passo consiste em posicionar o cursor nos quatro cantos da caixa de areia. Os pontos nos quatro cantos da caixa de areia serão armazenados no terminal. A ordem para capturar os pontos será a seguinte: canto inferior esquerdo, canto inferior direito, canto superior esquerdo e canto superior direito (Figura 10). Pressione a tecla P em cada um desses pontos para registrá-los.

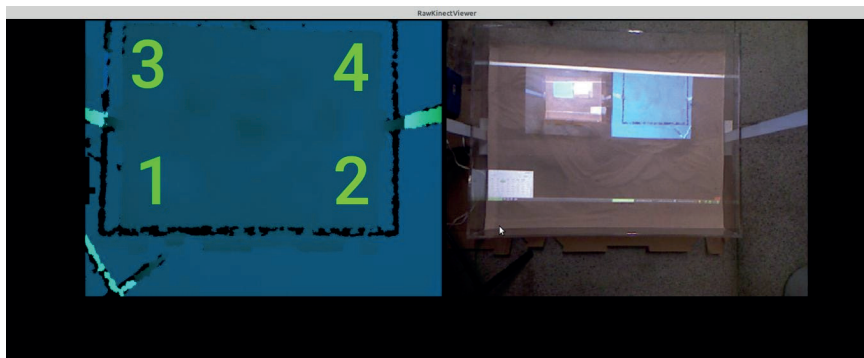


Figura 10 - Indicação da ordem de medição dos cantos da caixa de areia para fins de calibração

Fonte: Autora (2025).

Após registrar os pontos nos quatro cantos da caixa de areia, copie os valores que aparecem no terminal, conforme mostrada na Figura 11.

```
laboratorio@laboratorio: ~
Arquivo Editar Exibir Pesquisar Terminal Abas Ajuda

laboratorio@laboratorio: ~ x laboratorio@laboratorio: ~/src/SARndbox-2.8 x

Or: Shift = -30.3492 + 0.0383333*depth
Calculating best-fit color projection matrix for depth value range 399 - 975...
Smallest eigenvalue of color system = 0.00724561
Optimal homography from depth space to color image space:
  0.92403883 -0.00291344  0.05825592 -0.02988175
  0.00374381  0.92288494 -0.00007790  0.00184214
  0.00000000  0.00000000  1.00000000  0.00000000
 -0.00122406 -0.00084055 -0.00016680  1.00000000
Color matrix approximation RMS = 0.0666052
Intrinsic camera parameter file /usr/local/etc/Vrui-8.0/Kinect-3.10/IntrinsicPar
ameters-A00367A13245105A.dat already exists
laboratorio@laboratorio:~$ sudo /usr/local/bin/RawKinectViewer -compress 0
RawKinectViewer: Connected to 3D camera with serial number A00367A13245105A
laboratorio@laboratorio:~$ sudo /usr/local/bin/RawKinectViewer -compress 0
RawKinectViewer: Connected to 3D camera with serial number A00367A13245105A
Approximation residual: 6.60154
Depth-space plane equation: x * (-0.0291131, 0.00206213, 0.999574) = 814.301
Camera-space approximation RMS: -nan
Camera-space plane equation: x * (0.0629384, -0.00445803, 0.998007) = -129.656
(
  -52.2047,      -24.11,      -124.19)
(
   42.336,      -25.3651,     -131.762)
(
  -50.2598,      47.4472,     -125.925)
(
   44.2981,      47.0798,     -131.198)
laboratorio@laboratorio:~$
```

Figura 11 – Resultado do processamento dos pontos

Fonte: Autora (2025).

Abra uma nova aba no terminar e digite:

```
cd ~/src/SARndbox-2.8
xed etc/SARndbox-2.8/BoxLayout.txt &
```

Apague os valores que aparecerem no arquivo BoxLayout e cole os dados obtidos na etapa anterior. Note que o valores copiados possuem um sinal de igual (=), que deve ser substituído por uma vírgula, conforme a Figura 12. Após realizar essa alteração, salve e feche a janela.

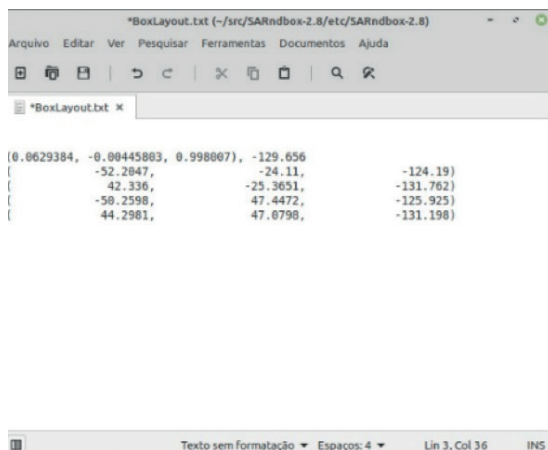


Figura 12 - Valores registrados no terminal após medição dos cantos da caixa de areia.

Fonte: Autora (2025).

5.1.10 Alinhamento do Projetor

Para alinhar o projetor, no terminal, insira o seguinte comando:

```
XBackground
```

Uma janela mostrando os guias de calibração será aberta. Coloque essa janela em tela cheia para visualizar uma prévia da área útil da sua caixa de areia. Caso a imagem tenha ficado distorcida ou pequena, faça o ajuste o projetor e repita os passos de extração dos planos e de medição da posição das bordas do SARndbox (Figura 13).

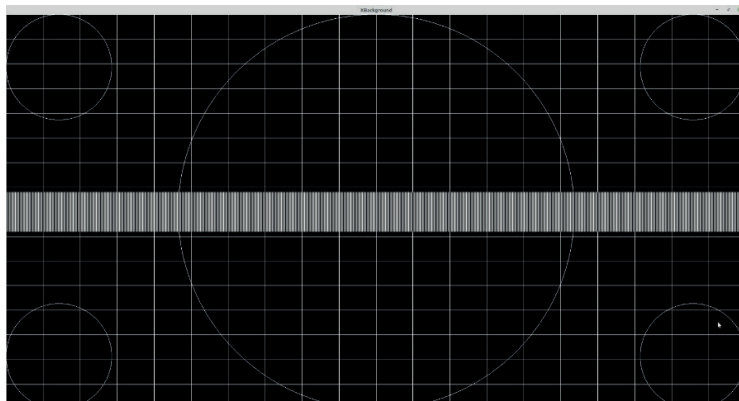


Figura 13 – Posição das bordas do SARndbox após calibração

Fonte: Autora (2025).

5.1.11 Calibração do Projetor e Kinect

Para realizar a calibração do projetor e Kinect, digite no terminal o seguinte comando:

```
cd ~/src/SARndbox-2.8 ./bin/CalibrateProjector -s 1024 768
```

Após a tela vermelha desaparecer, será necessário criar um atalho para capturar os pontos coletados, bem como a captura do background.

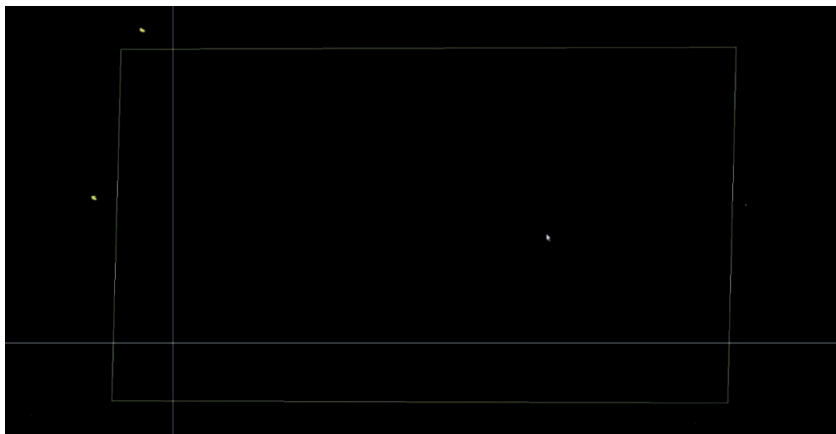


Figura 14 – Captura de tela do processo de calibração

Fonte: Autora (2025).

Uma janela vermelha aparecerá e desaparecerá automaticamente, deixando em seguida uma janela preta com retângulo e duas linhas brancas (Figura 14). Pressione a tecla numérica "3" e posicione o cursor do mouse sobre a opção "capture". Para facilitar o processo, coloque a janela em modo tela cheia. Em seguida, pressione a tecla C, uma única vez, para a captura do "background". O programa se fechará automaticamente após essa ação.

5.1.12 Execução do SARndbox

Para executar o aplicativo SARndbox, digite o seguinte comando em uma janela do terminal:

```
cd ~/src/SARndbox-2.8  
./bin/SARndbox -uhm -fpv
```

Após a execução, uma tela com a superfície da areia será exibida, conforme ilustrado na Figura 15. Para deixar a janela da caixa de Areia de Realidade Aumentada em modo tela cheia, pressione F11 no teclado.

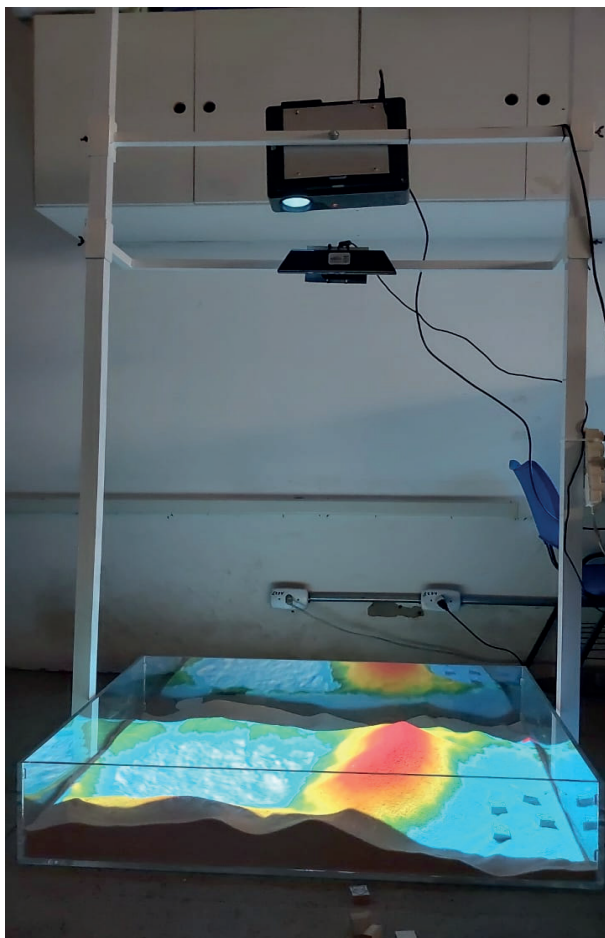


Figura 15 – Caixa de Areia de Realidade Aumentada calibrada e configurada

Fonte: Autora (2025).

Caso ocorra o espelhamento da projeção na areia é necessário utilizar o comando:

```
xrandr --output HDMI-1-1 --reflect x
```

Para corrigir a orientação do projetor.

A entrada utilizada no computador para o projetor é HDMI-1-1, é importante verificar o tipo de entrada nas configurações de tela para verificar a porta de conexão do projetor.

5.1.13 Criação De Um Ícone Na Área De Trabalho Para Iniciar o SARndbox

Para facilitar a execução do SARndbox, que normalmente exige a digitação de um comando extenso no terminal, é possível criar um atalho na área de trabalho. Isso permitirá iniciar o aplicativo com um simples duplo clique. O procedimento envolve duas etapas: a primeira consiste na criação de um script shell, responsável por executar o aplicativo SARndbox com os argumentos necessários; a segunda etapa é a vinculação desse script a um ícone na área de trabalho.

Para criar o script shell, abra um terminal e execute o seguinte comando:

```
xed ~/src/SARndbox-2.8/RunSARndbox.sh
```

Copie e cole o segundo bloco de código no arquivo .sh:

```
#!/bin/bash

# Enter SARndbox directory:
cd ~/src/SARndbox-2.8

# Run SARndbox with proper command line arguments:
./bin/SARndbox -uhm -fpv
```

Salve e feche o editor. Em seguida, para o sistema operacional permitir a execução do SARndbox, cole e execute o seguinte código no terminal:

```
chmod a+x ~/src/SARndbox-2.8/RunSARndbox.sh
```

Para criar um ícone na área de trabalho, execute o seguinte comando em um terminal:

```
xed ~/Desktop/RunSARndbox.desktop
```

Copie e cole o seguinte conteúdo:

```
#!/usr/bin/env xdg-open
[Desktop Entry]
Version=1.0
Type=Application
Terminal=false
Icon=mate-panel-launcher
Icon[en_US]=
Name[en_US]=
Exec=/home/<username>/src/SARndbox-2.8/RunSARndbox.sh
Comment[en_US]=
Name=Start the AR Sandbox
Comment=
```

Deve-se substituir o <username> pelo nome de usuário correto para localizar o script shell criado na etapa anterior. Ao tentar salvar o arquivo, pode ocorrer um ERRO. Nesse caso, deve-se colar o segundo bloco de código no terminal e executar no terminal:

```
chmod a+x ~/Desktop/RunSARndbox.desktop
```

Agora tente novamente salvar o arquivo .desktop. Ele deve ser salvo na área de trabalho com o nome "RunSARndbox.desktop. Em seguida, no terminal cole o código anterior, pressione ENTER e feche o terminal. Agora, basta clicar duas vezes com o botão direito do mouse sobre o atalho da área de trabalho e autorizar a execução.

5.1.14 Comandos do SARndbox

O SARndbox utiliza diferentes comandos e atalhos para simular processos hidrológicos e modificar a topografia virtualmente projetada sobre a areia. Esses comandos permitem aos usuários manipularem o relevo, simular eventos hídricos e ajustar a visualização para melhor compreensão dos fenômenos.

1. Simulação de Chuva (Caixa Inteira)

A ferramenta permite simular a precipitação e observar a resposta hidrológica do terreno modelado.

- Para ativar a simulação de chuva: Na tela do SARndbox, pressione a tecla SHIFT, coloque o cursor do mouse sobre a opção Manage Water e solte a tecla. Em seguida, aperte a tecla Espaço.
- A intensidade da chuva aumenta conforme o tempo que o botão é mantido pressionado (Figura 16).
- A cor azul representará a água se acumulando nos vales e áreas mais baixas.
- Para interromper a chuva: solte a tecla SHIFT.

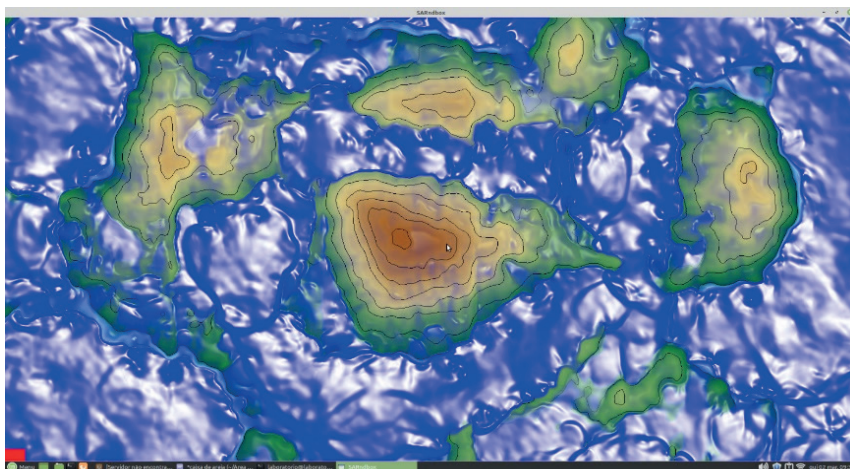


Figura 16 - Simulação de chuva na Caixa de Areia de Realidade Aumentada, com formação de escoamento superficial (áreas azuis)

Fonte: Autora (2025).

2. Água Localizada (Controle Local):

Permite simular eventos hídricos em áreas específicas da caixa.

- Pressione ENTER e coloque o cursor do mouse em cima da opção Manage Water Locally.
- Aperte a tecla A para ativar a água localizada, permitindo que você defina áreas específicas da caixa onde a chuva será concentrada (Figura 17).
- Posicione o cursor do mouse onde quer simular uma nascente, pressione ENTER para gerar a formação da nascente na área desejada.

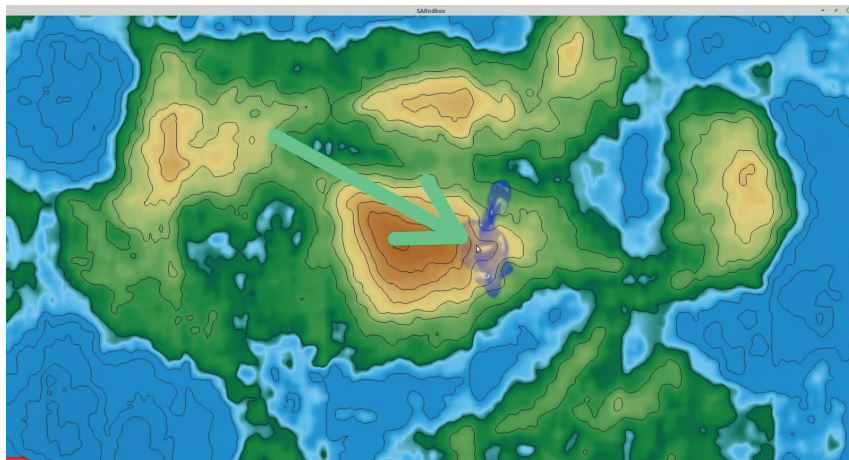


Figura 17 – Demonstração de água localizada acionada pela tecla "ENTER", simulando uma nascente

Fonte: Autora (2025).

3. Simulação de Infiltração (Caixa Inteira):

Quando é pressionando a tecla ESPAÇO, ocorre a redução gradativa do nível da água, simulando evaporação e infiltração (Figura 18).

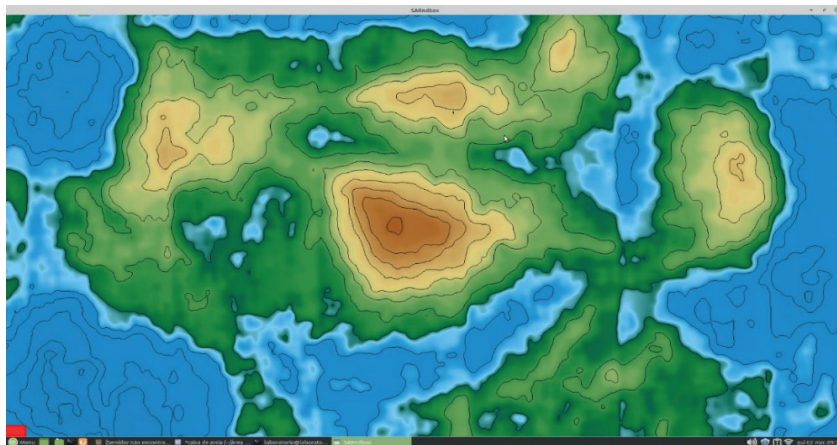


Figura 18 – Demonstração de evaporação e infiltração

Fonte: Autora (2025).

4. Modificação de Relevo

Os usuários podem modelar o terreno manualmente e observar as alterações topográficas em tempo real.

- Para criar montanhas e elevações: acumule areia em uma área específica.
- Para criar vales e depressões: remova a areia manualmente.
- O SARndbox recalcula automaticamente as curvas de nível, ajustando as altitudes conforme as mudanças no relevo, onde as diferentes altitudes são representadas por cores, seguindo uma paleta contínua: o vermelho indica as regiões mais altas e o azul ou violeta, as mais baixas. (Figura 19).

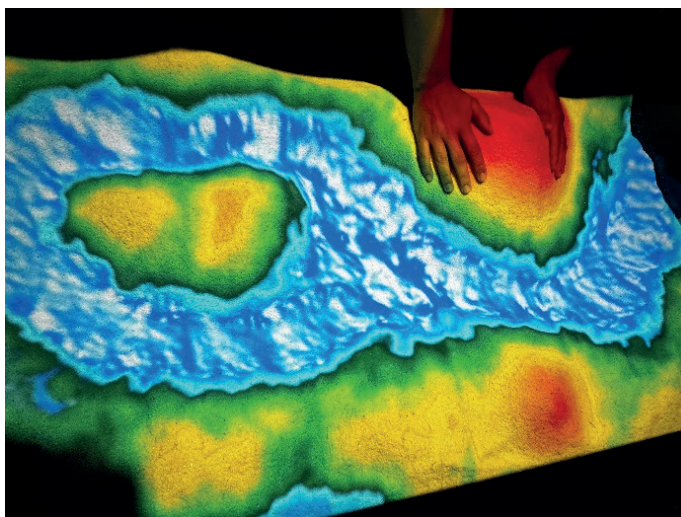


Figura 19 - Modelagem manual do relevo, com ajuste automático das curvas de nível pelo software

Fonte: Autora (2025).

5. Ajustes de Visualização

O software permite modificar a exibição das projeções para melhor observação dos fenômenos simulados.

- [F11]: Alterna entre o modo tela cheia e o modo janela.
- [ESC]: Fecha o programa.
- [MOUSE] + [BOTÃO DIREITO]: Gira e ajusta a perspectiva do ambiente virtual.
- [SCROLL DO MOUSE]: Aproxima ou afasta a visualização.

6. Atalhos do Teclado

Após criação dos atalhos, os comandos do SARndbox podem ser acionados rapidamente via teclado (Quadro 1):

Tecla	Função
[SHIFT]	Simula a chuva sobre a área da caixa
[ENTER]	Simula nascentes
[ESPAÇO]	Reduz gradualmente o nível da água, simulando evaporação/infiltração

Quadro 1 - Teclas de Atalho para o SARndbox

Fonte: Autora (2024)



6. RESULTADOS

O processo de instalação e configuração do SARndbox foi concluído com sucesso, seguindo as etapas descritas no manual.

A Figura 20 ilustra o fluxo completo do processo de instalação e calibração, sintetizando as etapas descritas.

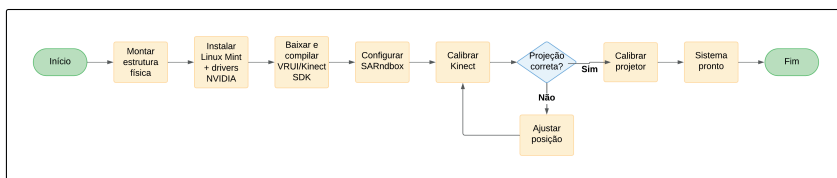


Figura 20 - Fluxograma das etapas de instalação e calibração do SARndbox.

Fonte: Autora (2025).

6.1 Prática 1 - Simulação De Uma Bacia Hidrográfica

A utilização da Caixa de Areia de Realidade Aumentada permitiu a criação e manipulação de bacias hidrográficas em tempo real, possibilitando a modelagem do relevo e a observação dinâmica do comportamento da água (Figura 21). Durante a simulação, ao estender a mão sobre a superfície da caixa de areia, foi possível visualizar a formação da chuva e seu deslocamento ao longo do terreno, ao clicar na tecla "ENTER", foi possível visualizar como o nível da água diminuía progressivamente. Essa ação simula os processos de evaporação e infiltração, permitindo que os usuários visualizassem de maneira clara como esses fenômenos impactam o nível da água em uma bacia hidrográfica.

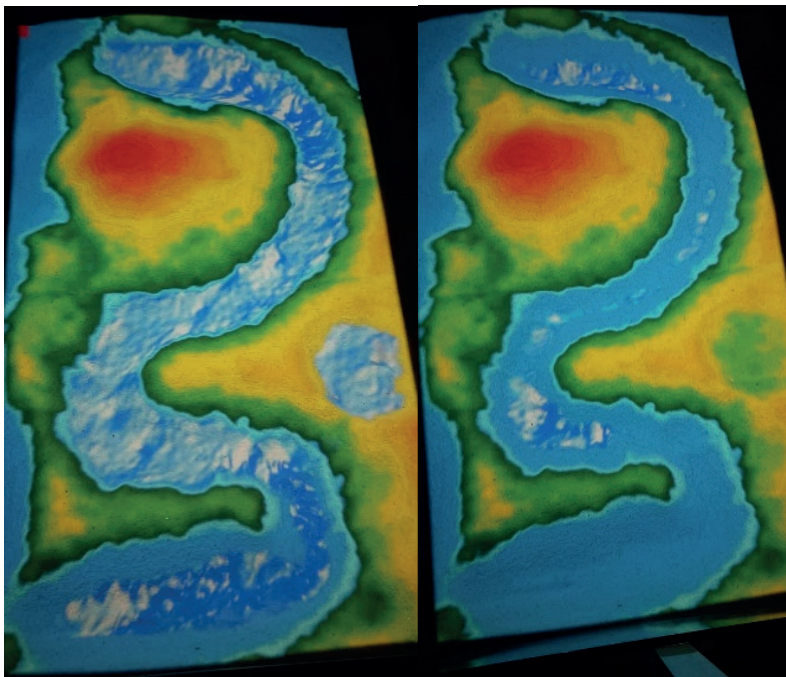


Figura 21 - Visualização inicial com formação de bacia e precipitação simulada (esquerda) e a representação do escoamento superficial, infiltração e evaporação na paisagem modelada (direita)

Fonte: Autora (2025)

A interação com a caixa de areia facilitou a assimilação de conceitos importantes, como a relevância da conservação do solo e os efeitos do escoamento superficial. Isso possibilitou uma análise mais aprofundada das características do relevo, assim como a redução do nível da água devido à evaporação e infiltração.

6.2 Prática 2 - Simulação De Fluxo De Água

Por meio da construção e manipulação da bacia hidrográfica na Caixa de Areia de Realidade Aumentada, foi possível visualizar o comportamento da água ao longo da paisagem, analisando seus processos de escoamento, infiltração e formação de corpos d'água. A simulação permitiu compreender como a dinâmica do escoamento pode ser influenciada tanto por características naturais do relevo quanto por intervenções antrópicas, como a construção de barragens e outras modificações na infraestrutura (Figura 22).

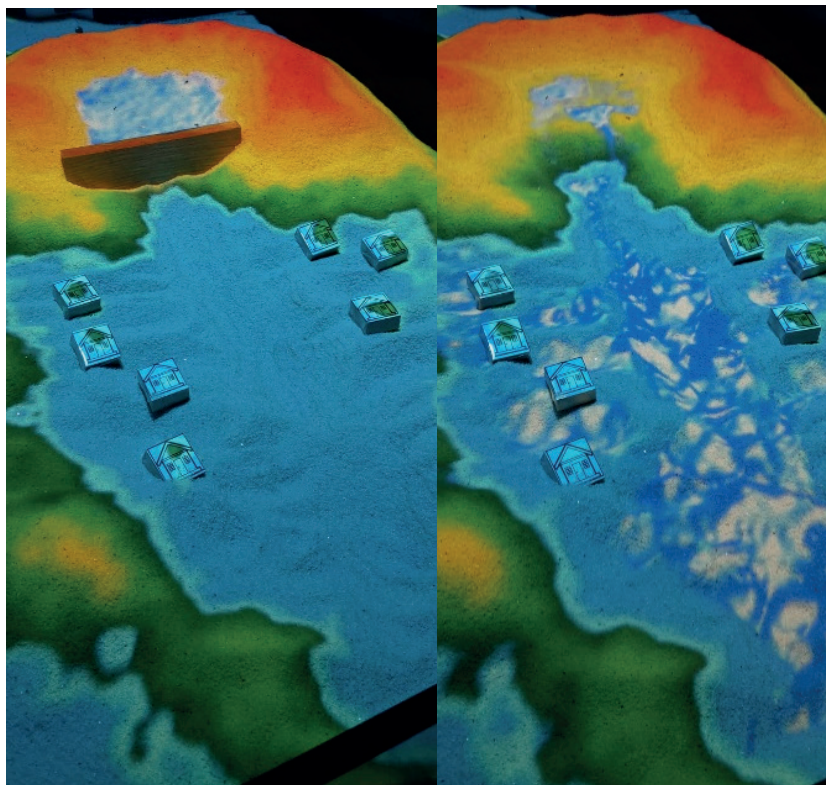


Figura 22 - Construção de uma barragem com relevo artificial (esquerda) e a observação do fluxo de água após a simulação de rompimento (direita).

Fonte: Autora (2025).

6.3 Prática 3 - Simulação de Desastres Ambientais

Nesta atividade, foram simulados desastres ambientais relacionados a eventos hídricos extremos, como enchentes, inundações e alagamentos, por meio da variação da intensidade das chuvas (controlada pela tecla SHIFT).

A simulação permitiu mapear as áreas mais vulneráveis a esses fenômenos, destacando como o relevo e a infraestrutura urbana influenciam a propagação da água. Os resultados contribuíram para uma análise crítica sobre os riscos ambientais, reforçando a importância de medidas preventivas e de um planejamento territorial mais eficiente para reduzir os impactos desses desastres (Figura 23).

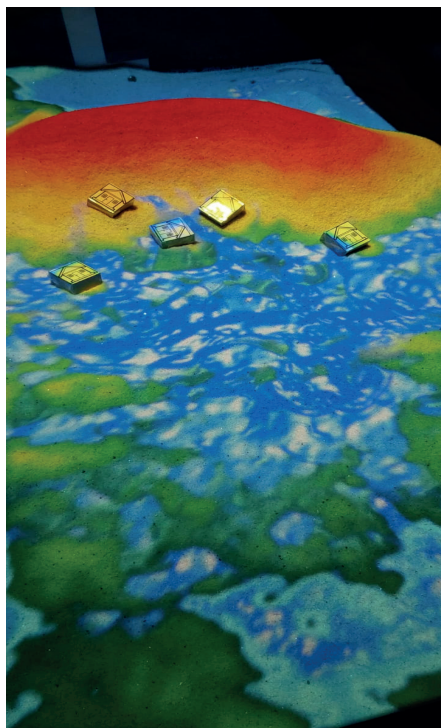


Figura 23 - Simulação de ocupação irregular

Fonte: Autora (2025).

6.4 Aplicação

A análise do impacto da atividade, realizada através de observação direta e conversas em grupo, mostrou que os alunos não só entenderam bem os conceitos, mas também mantiveram um engajamento ativo durante as dinâmicas. O aspecto visual do material utilizado destacou-se como um fator determinante, chamando a atenção de todos rapidamente os participantes, independente das diferenças de idade ou nível de escolaridade. Isso facilitou a assimilação dos conteúdos e transformou a experiência em um processo mais inclusivo e estimulante (Figura 24).

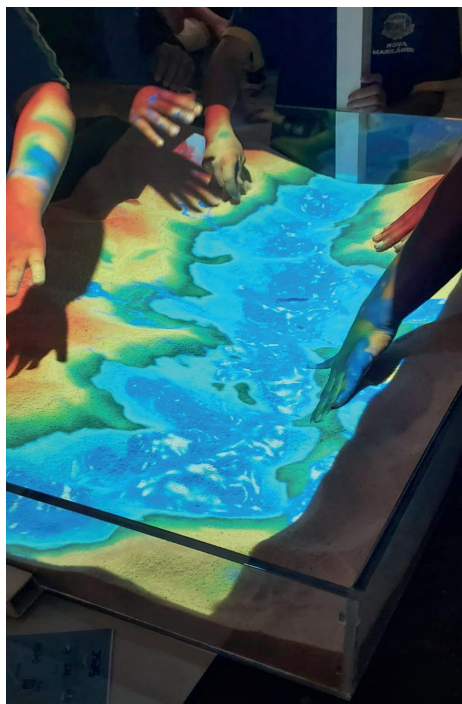


Figura 24 – Alunos do ensino básico interagindo com a caixa de areia de realidade aumentada

Fonte: Autora (2025)

Durante a exposição, os participantes acompanharam, na prática, como se dá a relação entre as bacias hidrográficas e a gestão dos recursos hídricos. O conteúdo abrangeu desde princípios fundamentais de hidrologia até práticas de conservação ambiental, permitindo uma assimilação prática de conceitos. A interação dos alunos com o tema foi monitorada e seus resultados estão consolidados no Quadro 2.

Escolas	Número total de alunos	Engajamento (%)	Permanência ao final de 3 minutos
Escola Estadual Reinaldo Dutra Vilarinho (rural)	49	100% (49)	100%
Escola Municipal 1º de maio	73	100% (73)	100%

Quadro 2 - Relação ao engajamento e interesse dos alunos

Fonte: Autora (2025)

Os resultados quantitativos evidenciam elevado índice de participação dos alunos nas duas escolas analisadas. Em ambas as escolas, todos os alunos mantiveram-se atentos durante os 3 minutos de interação. Os dados indicam adesão da caixa de areia de realidade aumentada como recurso pedagógico, evidenciando sua capacidade de captação e manutenção da atenção discente ao longo da atividade.

Embora o engajamento imediato dos alunos tenha sido de 100%, ressalta-se que o tempo de integração limitado (3 minutos por grupo) não permite inferir sobre a retenção do conhecimento após a atividade. Essa análise demandaria acompanhamento longitudinal, conforme sugerido por Akçayir e Akçayir (2017).



7. DISCUSSÕES

Os resultados demonstram que o SARndbox melhora significativamente a compreensão de fenômenos hidrológicos, como afirmam Bacca et al. (2014) e Mirza et al. (2025), ao transformar conceitos abstratos em experiências visuais e táteis. A simulação prática contribui para tornar o conteúdo mais simples, especialmente para alunos do ensino fundamental, o que amplia as possibilidades de aplicação da ferramenta. Essa característica, segundo os autores, reduz a lacuna entre teoria e prática no ensino de ciências ambientais. Contudo, ressalta-se que sua eficácia educacional plena ainda necessita de validação por meio de estudos controlados que comparem sistematicamente os resultados de aprendizagem com métodos tradicionais (BACCA et al., 2014).

Segundo Santana (2024), a caixa de areia de realidade aumentada demonstra potencial como ferramenta educacional para o ensino de recursos hídricos, destacando seu caráter imersivo e interativo. Os alunos apresentaram alta adesão, obtidos por observação direta durante as atividades, com índices de participação e permanência de 100% nas escolas avaliadas. Os resultados obtidos estão em consonância com os estudos de Santana (2024), que evidencia que a manipulação prática da ferramenta, aliada à simulação de fenômenos hidrológicos, aumentou significativamente o engajamento dos alunos em escolas de ensino fundamental e médio, com índices de participação superiores a 90% na maioria das instituições avaliadas.

Conforme Bacca et al. (2014), intervenções breves com RA podem melhorar o engajamento imediato, mas sua eficácia na retenção de conhecimento exige repetição e contextualização pedagógica. Soltis et al. (2020) demonstram que a combinação de dados qualitativos e quantitativos é essencial para validar eficácia pedagógica. No entanto, a avaliação baseou-se em observação direta e participação, mas não incluiu instrumentos padronizados (como questionários pré/pós-atividade) para mensurar ganhos cognitivos.

Quanto aos desafios técnicos, a experiência de implementação confirmou as barreiras documentadas por Tori e Hounsell (2018), porém com nuances específicas do contexto brasileiro. A dependência de placas NVIDIA e sistema Linux, como destacado na metodologia, constitui uma limitação prática que demanda atenção em futuras adaptações da tecnologia, em linha com as recomendações de Gomes et al. (2024) para o desenvolvimento de versões mais acessíveis.

Como desafios técnicos e econômicos, destaca-se o custo elevado da estrutura e de seus componentes (cerca de R\$ 5.000,00 por unidade), o que, conforme Gomes et al. (2024) pode excluir instituições com recursos limitados. No entanto, os mesmos autores sugerem que parcerias entre instituições de ensino e empresas de tecnologia podem ser estratégias eficazes para ampliar o acesso a recursos de realidade aumentada, especialmente diante das restrições orçamentárias enfrentadas por escolas públicas. Embora a redução de custos dependa de cada contexto, iniciativas desse tipo têm se mostrado promissoras para viabilizar a implementação dessas ferramentas em larga escala (Gomes et al., 2024).

Quanto à aplicabilidade, os resultados deste projeto demonstraram que o SARndbox pode ser eficazmente integrado a estratégias pedagógicas convencionais. A combinação com materiais impressos, como evidenciado pelo uso dos panfletos explicativos, mostrou-se uma inovação relevante em relação às abordagens documentadas na literatura internacional, que tende a focar no uso isolado da ferramenta, esta pesquisa utilizou recursos digitais e materiais didáticos tradicionais para reforçar a compreensão conceitual por meio de múltiplas representações (KREYLOS et al., 2016; SOLTIS et al., 2020).

Em síntese, este estudo demonstrou que o SARndbox é uma ferramenta educacional inovadora, com potencial para o ensino de hidrologia, especialmente quando integrada a materiais didáticos tradicionais, sendo um avanço em relação às propostas internacionais. Contudo, a viabilidade econômica ainda requer adaptações, como a criação de versões simplificadas do software, com requisitos técnicos menos exigentes, visando ampliar o acesso a instituições educacionais com infraestrutura tecnológica limitada.



8. CONCLUSÃO

Este estudo implementou e avaliou o SARndbox como ferramenta educacional inovadora para o ensino de recursos hídricos, confirmando seu potencial pedagógico, confirmando seu potencial pedagógico, conforme evidenciado pelo elevados níveis de engajamento observados durante as atividades. Os resultados obtidos permitem afirmar que o sistema apresenta características únicas que o diferenciam dos métodos tradicionais de ensino, principalmente no que se refere à capacidade de proporcionar uma ponte entre a teoria e a prática.

Do ponto de vista técnico, o projeto comprovou que é possível implementar o SARndbox com recursos relativamente acessíveis, utilizando hardware convencional e software de código aberto. No entanto, identificou-se que a calibração precisa do sistema e a necessidade de configurações específicas representam desafios que precisam ser considerados em futuras implementações.

Vale ressaltar que as limitações identificadas, como o tempo restrito de interação e a ausência de métricas de aprendizagem, não invalidam os resultados positivos de engajamento, mas sinalizam a necessidade de aprimoramentos metodológicos em pesquisas futuras.

A implementação da Realidade Aumentada no ensino também enfrenta desafios relacionados ao acesso a equipamentos. A aquisição de sensores Kinect, projetores e computadores adequados pode ser um obstáculo para instituições com orçamento limitado. Uma solução viável consiste na formação de parcerias entre universidades e escolas, possibilitando tanto o compartilhamento de recursos quanto a capacitação de professores para utilizar a tecnologia de maneira eficaz.

Como principais contribuições deste estudo, destacam-se a adaptação do sistema para o contexto educacional brasileiro e a demonstração de seu potencial como recurso complementar no ensino de ciências ambientais. Os resultados sugerem que o SARndbox pode ser particularmente útil para ilustrar processos dinâmicos e promover a aprendizagem por descoberta orientada, embora seu uso deva ser integrado a uma estratégia pedagógica mais ampla.

Paralelamente, recomenda-se investigar o impacto cognitivo do uso prolongado da ferramenta, desenvolver versões simplificadas para ampliar a acessibilidade e explorar aplicações em outras áreas do conhecimento. Por fim, o SARndbox representa uma alternativa promissora para o ensino de recursos hídricos, oferecendo possibilidades inovadoras para a educação ambiental, desde que utilizado como parte de um planejamento didático cuidadosamente estruturado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKÇAYIR, M.; AKÇAYIR, G. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. **Educational Research Review**, v. 20, p. 1-11, 2017.

AYER, S. K.; MESSNER, J. I.; ANUMBA, C. J. Augmented Reality Gaming in Sustainable Design Education. **Journal of Architectural Engineering**, v. 22, n. 1, p. 1–9, 2016.

BACCA, J. et al. Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. **Educational Technology & Society**, v. 17, n. 4, p. 133-149, 2014.

BORBOREMA, S. M. T.; MAURÍCIO, C. R. M. Realidade aumentada como recurso pedagógico para docentes dos anos iniciais do ensino fundamental. **Concurso de teses e dissertações - simpósio de realidade virtual e aumentada (svr)**, 26., 2024, Manaus/AM. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, p. 101-105, 2024.

COWIN, J. B. Digital worlds and transformative learning: Google expeditions, google arts and culture, and the merge cube. **International Research and Review, ERIC**, v. 10, n. 1, p. 42–53, 2020.

FONSECA, T. S. S.; BARBOSA, A. C. B.; GIANGIARDI, V. F. A utilização da realidade virtual como forma de reabilitação fisioterapêutica multidisciplinar. **Simpósio Internacional De Ciências Integradas Da Unaerp** - Campus Guarujá, 20., 2023, Guarujá. Anais [...]. Guarujá: UNAERP, 2023.

GALVÃO, J. R.; SOUZA, L. P. Evolução das interfaces de interação em jogos: Do Wii ao Kinect. **Congresso Brasileiro de Tecnologia e Inovação em Jogos**, 2020. Anais [...]. São Paulo: SB-Games, p. 112–120, 2020.

GOMES, J. S. et al. Realidade virtual e aumentada: aplicativos facilitadores do ensino-aprendizagem. **Caderno Pedagógico**, [S.l.], v. 21, n. 9, p. e7453, 2024.

KIDWAI, A. et al. A comparative study on shells in Linux: A review. **Materials Today: Proceedings**, v. 37, pt. 2, p. 2612-2616, 2021.

KREYLOS, O. et al. The ar sandbox: augmented reality in geoscience education. **AGU Fall Meeting Abstracts. Anais [...]**. [S.l.: s.n.], v. 2016, p. ED51H–0843, 2016

KREYLOS, O. **Augmented Reality Sandbox**. 2020. Disponível em: <https://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/>. Acesso em: 20 de jan. 2025.

REED, S.; KREYLOS, O.; KELLOGG, L. H. Shaping Watersheds Exhibit: An Interactive, Augmented Reality Sandbox for Advancing Earth Science Education. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 95, n. 39, p. 325–326, 2014.

MANRIQUE-JUAN, A. C. et al. A Portable Augmented-Reality Anatomy Learning System Using a Depth Camera in Real Time. **BioOne**, v. 79, n. 3, p. 176–183, 2017.

MAZIERO, C. **Sistemas Operacionais: Conceitos e Mecanismos**. Disponível em: <https://wiki.inf.ufpr.br/maziero/lib/exe/fetch.php?media=socm:socm-01.pdf>, 2019. Acesso em: 28 de jan. 2025.

MIRZA, T.; DUTTA, R.; TULI, N. et al. Leveraging augmented reality in education involving new pedagogies with emerging societal relevance. **Discov Sustainability**, v. 6, p. 77, 2025.

PROETTI, S. G.; DEL VECHIO, G. H. A captura de movimento como tecnologia para dar fluidez natural aos movimentos de personagens e objetos 3D. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, SP, v. 17, n. 1, p. 82–94, 2020.

RED HAT. **What is Linux?** 2021. Disponível em: <https://www.redhat.com>. Acesso em: 22 jan. 2025.

SOLTIS, N. A.; MCNEAL, K. S.; ATKINS, R. M.; MAUDLIN, L. C. A novel approach to measuring student engagement while using an augmented reality sandbox. **Journal of Geography in Higher Education**, v. 44, n. 4, p. 512-531, 2020.

SANTANA, S. C. A. **Promovendo a compreensão dos recursos hídricos por meio da caixa de areia realidade aumentada: uma abordagem na educação ambiental**. 2024. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2024.

TORI, R.; HOUNSELL, M. S. (org.). **Introdução a realidade virtual e aumentada**. Porto Alegre: Editora SBC, 2018.

UCDAVIS. **Augmented Reality Sandbox**. 2023. Disponível em: <https://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

WERBER, K. **Intuitive human robot interaction and workspace surveillance by means of the kinect sensor**. 2011. Acesso em: 12 fev. 2025.

SOBRE OS AUTORES

KARINNY XAVIER DA SILVA - Engenheira Sanitarista e Ambiental formada pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Atuou como bolsista de Iniciação Científica, desenvolvendo projetos voltados à educação ambiental, com ênfase na gestão de recursos hídricos e no saneamento ambiental. Possui experiência em atividades de extensão, divulgação científica e ações pedagógicas para o ensino de hidrologia e sustentabilidade.

RAFAEL ALVES DUMER - Físico formado pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), mestre em Física pela mesma instituição e atualmente doutorando em Física pela UFMT. Desenvolve pesquisas nas áreas de Física da Matéria Condensada e Sistemas Complexos, com ênfase em transições de fase dinâmicas competitivas e modelos magnéticos.

IBRAIM FANTIN DA CRUZ - Biólogo formado pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), mestre em Ecologia pela UFMT e doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). É professor da UFMT, lotado no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, e docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Desenvolve pesquisas nas áreas de hidrossedimentologia, qualidade da água, hidrologia aplicada e planejamento de recursos hídricos, atuando também em projetos de extensão, gestão ambiental e divulgação científica.

**CAIXA DE AREIA DE
REALIDADE AUMENTADA
(SARNDBOX)
DA TEORIA À PRÁTICA NO ENSINO
DE RECURSOS HÍDRICOS**

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

**CAIXA DE AREIA DE
REALIDADE AUMENTADA
(SARNDBOX)
DA TEORIA À PRÁTICA NO ENSINO
DE RECURSOS HÍDRICOS**

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 