



VRTools - Uma plataforma de aplicações de Realidade Virtual e Aumentada na Web

Lucas Diniz da Costa

JUIZ DE FORA
MARÇO, 2021

VRTools - Uma plataforma de aplicações de Realidade Virtual e Aumentada na Web

LUCAS DINIZ DA COSTA

Universidade Federal de Juiz de Fora

Instituto de Ciências Exatas

Departamento de Ciência da Computação

Bacharelado em Ciência da computação

Orientador: Rodrigo Luis de Souza da Silva

JUIZ DE FORA

MARÇO, 2021

VRTOOLS - UMA PLATAFORMA DE APLICAÇÕES DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA NA WEB

Lucas Diniz da Costa

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS
EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTE-
GRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:

Rodrigo Luis de Souza da Silva
Doutor em Engenharia Civil

Marcelo Caniato Renhe
Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação

Luiz Maurílio da Silva Maciel
Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação

JUIZ DE FORA
10 DE MARÇO, 2021

Aos meus amigos e irmãos.

Aos pais, pelo apoio e sustento.

Resumo

Atualmente, tecnologias interativas de Realidade Virtual e Aumentada se fazem cada vez mais presentes na vida das pessoas. Elas estão inseridas em equipamentos mais simples, sendo possível acessá-las em aplicações de diversos ramos do conhecimento. Na educação, apesar do forte crescimento de uso, sua implementação na educação básica para auxiliar a aprendizagem ainda é precária em países como o Brasil. Seu acesso é limitado para quem desconhece essas tecnologias ou para as pessoas que acreditam na necessidade de adquirir equipamentos caros para usufruir de RV e RA. Dado esse contexto, neste trabalho foi elaborada a plataforma *VRTools* com o objetivo de complementar o ensino tradicional com aplicações educacionais de RV e RA desenvolvidas para a plataforma e possibilitar que pessoas possam conhecer essas tecnologias com dispositivos de baixo custo. Dessa forma, foi elaborado um estudo qualitativo com 21 participantes sobre a validade de plataformas de Realidade Virtual e Aumentada, e seu potencial adicional à Educação. Os resultados se mostraram satisfatórios, pois as evidências coletadas apontam para o potencial de plataformas, como a *VRTools*, em influenciar positivamente na motivação e no interesse dos estudantes pelos conteúdos apresentados em processos de ensino-aprendizagem, além de estabelecer contatos iniciais com essas tecnologias.

Palavras-chave: Plataforma Educacional, Realidade Virtual, Realidade Aumentada.

Abstract

Currently, interactive technologies of Virtual Reality and Augmented Reality are increasingly present in people's lives. They are inserted in simpler devices being possible to access them in applications from different branches of knowledge. In education, despite the strong growth in use, their implementation in basic education to assist learning is still precarious in countries like Brazil. Their access is difficult either for those who are unaware of these technologies or for those who believe in the need for many resources or in a high acquisition cost. Given this reality, the VRTools platform was developed in this work in order to complement traditional teaching and enable people to learn about these technologies through some educational applications. Thus, a qualitative study was carried out with 21 participants on the validity of Virtual and Augmented Reality platforms and their additional potential for Education. The results were satisfactory, since the evidence collected points to the potential of the platform to positively influence the motivation and interest of students in the content presented in the teaching-learning processes, in addition to establishing initial contacts with these technologies.

Keywords: Educational Platform, Virtual Reality, Augmented Reality.

Agradecimentos

À minha mãe Édila e meus irmãos Alexandre e Wellisson que me deram ótimos conselhos e suporte nessa jornada do Ensino Superior e a todos os meus parentes e amigos pelo encorajamento e apoio.

Ao professor Igor Knop pela orientação na conclusão do curso de Ciências Exatas, amizade, pelo auxílio no desenvolvimento de artigos científicos e por demonstrar como a programação pode ser divertida e interessante através da criação de jogos digitais.

Ao professor Rodrigo Luis pela orientação na realização deste trabalho, amizade e principalmente, por ser um excelente professor de Computação Gráfica que contribuiu tanto pelo meu aprendizado do conteúdo ministrado quanto por me possibilitar conhecer uma área nova de interesse na programação, assim, tornando possível este trabalho.

Aos professores do Departamento de Ciência da Computação pelos seus ensinamentos e aos funcionários do curso, que durante esses anos, contribuíram de algum modo para o nosso enriquecimento pessoal e profissional.

Ao GET Computação, por proporcionar uma das melhores experiências de aprendizado que pude ter na universidade, contribuir para meu desenvolvimento pessoal e profissional e por ser uma segunda casa onde passei muito tempo aprendendo, desenvolvendo projetos, conhecendo pessoas incríveis e por possibilitar que este trabalho fosse realizado.

*“Se enxerguei mais longe é porque me
apoiei em ombros de gigantes”.*

Isaac Newton

Conteúdo

Lista de Figuras	7
Lista de Abreviações	9
1 Introdução	10
1.1 Apresentação do Tema	10
1.2 Problema	10
1.3 Justificativa	11
1.4 Objetivos	11
1.5 Organização	12
2 Fundamentação Teórica	13
2.1 Realidade Virtual	13
2.2 Realidade Aumentada	15
3 Trabalhos Relacionados	18
3.1 Realidade Aumentada e Virtual no ensino	18
3.2 Plataformas de RV e RA	20
4 Abordagem Proposta	21
4.1 VRTools	21
4.2 Tecnologias utilizadas	23
4.3 Aplicações	25
4.3.1 Sólidos Platônicos	25
4.3.2 Sistema Solar	27
4.3.3 Plano Inclinado	29
5 Avaliação da plataforma	32
5.1 Caracterização dos Participantes	32
5.2 Método de Avaliação	33
5.3 Resultados	34
6 Considerações Finais	37
6.1 Conclusão	37
6.2 Trabalhos Futuros	38
Bibliografia	39
A Apêndices	41
A.1 Formulário de avaliação	41
A.2 Manual de instrução na avaliação	42

Lista de Figuras

2.1	(a) Óculos de Realidade Aumentada da empresa <i>Vuzix</i> . (b) Óculos de Realidade Virtual <i>Huawei VR-Glass</i> da empresa <i>Huawei</i>	14
2.2	(a) Capacete de Realidade Mista (Virtual + Aumentada) desenvolvido pela empresa <i>Samsung</i> . (b) Capacete de Realidade Virtual <i>Sensics Smart Goggles</i> desenvolvido pela empresa <i>Sensics</i>	14
2.3	Imagem da aplicação de Arquitetura em RV presente na plataforma <i>VR-Tools</i> executada em um <i>Smartphone</i>	14
2.4	(a) Armação do óculos de RV montada a partir do kit do <i>Google CardBoard</i> (GOOGLE, 2020). (b) Armação do óculos de RV do acessório <i>VR-Box</i> . . .	15
2.5	Representação de elementos que auxiliam na composição de RA (ARANTES <i>et al.</i> , 2011).	16
2.6	Em (a), há um marcador fiducial utilizado no posicionamento de elementos virtuais. Em (b), uma aplicação em RA que projeta os componentes do Sistema Solar sobre o marcador.	16
4.1	Página inicial do site da plataforma <i>VRTools</i>	21
4.2	Aplicativos acurados sobre outros projetos de Realidade Virtual e Realidade Aumentada	22
4.3	Aplicações desenvolvidas para a plataforma <i>VRTools</i>	23
4.4	Site da biblioteca <i>Three.js</i> com a documentação e exemplos de aplicações. .	23
4.5	Site da biblioteca <i>AR.js</i> com a documentação e exemplos de aplicações que utilizam rastreamento de marcadores, de localização e de imagem.	24
4.6	Site da biblioteca <i>A-Frame</i> com a documentação e exemplos de aplicação. .	25
4.7	Aplicação de Sólidos Platônicos sendo executada em um navegador com a representação de um icosaedro em (a) e de um cubo em (b).	26
4.8	Aplicação de Sólidos Platônicos sendo executada em Realidade Aumentada com a representação de um icosaedro em (a) e de um cubo em (b), ambos posicionados sobre o marcador.	26
4.9	Aplicação de Sólidos Platônicos sendo executada em Realidade Virtual com a representação de um icosaedro em (a) e de um cubo em (b).	27
4.10	Menu auxiliar com o objetivo de facilitar a interação em Realidade Virtual na aplicação sobre os sólidos platônicos.	27
4.11	Aplicação do Sistema Solar sendo executada em um navegador com a representação do planeta Terra em (a) e da Lua em (b).	28
4.12	Aplicação do Sistema Solar sendo executada em Realidade Aumentada com a representação do planeta Terra em (a) e do planeta Marte em (b), ambos posicionados sobre o marcador.	28
4.13	Aplicação do Sistema Solar sendo executada em Realidade Virtual com a representação dos corpos celestes e suas órbitas, tanto em (a) quanto em (b). .	29
4.14	Painel de informações com equações físicas e valores das forças na aplicação sobre plano inclinado.	30
4.15	Aplicação de Plano Inclinado sendo executada em um navegador com o diagrama de forças sobre o bloco variando de acordo com a situação em (a) e em (b).	30

4.16	Aplicação de Plano Inclinado sendo executada em Realidade Aumentada com o bloco deslizando da situação em (a) para (b).	31
4.17	Aplicação de Plano Inclinado sendo executada em Realidade Virtual. . . .	31
4.18	Menu auxiliar com o objetivo de facilitar a interação em Realidade Virtual na aplicação sobre o plano inclinado.	31
5.1	Gráfico representativo da escolaridade dos participantes do estudo.	32
5.2	Resultados da avaliação da plataforma com o público-alvo selecionado. . . .	35

Lista de Abreviações

CG	Computação Gráfica
DCC	Departamento de Ciência da Computação
HMD	<i>Head-Mounted Display</i>
RA	Realidade Aumentada
RV	Realidade Virtual
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora

1 Introdução

1.1 Apresentação do Tema

O desenvolvimento de tecnologias interativas e imersivas cresce a cada ano. Tecnologias como Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) vêm apresentando uma tendência de crescimento no mercado, sendo que somente a Realidade Virtual teve seu mercado avaliado¹ em mais de 5,2 bilhões de dólares em 2017, indicando uma perspectiva de expansão para os próximos anos.

Ambas as tecnologias têm o seu conceito construído a partir da relação real-virtual. Para Ronald Azuma (1997), a RA pode ser definida pela representação da interação ou associação entre elementos físicos do mundo real e elementos virtuais, criados a partir do ambiente digital. Já Kirner e Siscoutto (2007) definem RV como uma interface que promove a navegação e contato em tempo real com elementos tridimensionais no ambiente virtual através de dispositivos auxiliares.

Conforme o progresso científico se estabelece, trabalhar e pesquisar sobre o uso dessas tecnologias vêm se tornando cada vez mais abrangente e acessível. Na educação, as duas tecnologias são utilizadas para a elaboração de novas aplicações visando a auxiliar no aprendizado e complementar o ensino tradicional, principalmente em conteúdos nos quais a representação virtual poderia facilitar a visualização e compreensão do tema.

1.2 Problema

A popularização do uso dessas ferramentas no contexto educacional é notável. No entanto, a aplicação de RV e RA na educação básica em sala de aula ou à distância, para complementar o ensino e prover uma interatividade maior com o conteúdo, ainda é precária em países como o Brasil (QUEIROZ *et al.*, 2018).

Apesar de aplicações nessa linha estarem disponíveis no mercado, seu acesso

¹<http://g1.globo.com/globo-news/mundo-sa/videos/v/mundo-sa-mercado-de-realidade-virtual-e-bilionario-em-pouco-tempo/6046837/>

acaba sendo dificultado para quem desconhece essas tecnologias ou acredita ser necessário gastar muitos recursos para adquirir equipamentos e conseguir uma experiência interativa em RV e RA. Partindo desse pressuposto, plataformas gratuitas e de fácil acesso poderiam disponibilizar um conjunto de aplicações e trabalhos direcionados à educação, criados a partir de RV e RA, sendo executados em equipamentos de baixo custo. Através desses recursos, os estudantes e professores teriam um contato inicial com essas tecnologias interativas e as utilizariam para complementar os métodos tradicionais de ensino através de um ambiente virtual. Contudo, as plataformas nesse contexto são escassas no mercado.

1.3 Justificativa

A modernização tem facilitado cada vez mais o acesso às tecnologias interativas. Na atualidade, já é possível, através de aparelhos de baixo custo, utilizar RV e RA em dispositivos móveis ou computadores. A RV pode ser acessada através de equipamentos simples conectados a computadores ou aplicativos que permitem o aproveitamento dos recursos do dispositivo móvel para simular os óculos de Realidade Virtual. A RA, por sua vez, pode ser executada em praticamente todos os dispositivos móveis disponíveis no mercado.

Assim, cria-se uma demanda cada vez maior para esse segmento. No entretenimento, o mercado de jogos digitais em RV está em expansão, e na educação, o desenvolvimento de aplicações baseadas em RV e RA projetadas para o ensino se torna cada vez mais frequente.

1.4 Objetivos

O objetivo geral deste projeto é apresentar uma plataforma de fácil acesso, tanto para dispositivos móveis quanto computadores, voltada ao apoio na educação através de aplicações de Realidade Virtual e Realidade Aumentada, visando a complementar o ensino tradicional por meio de dispositivos de baixo custo, além de demonstrar o potencial de plataformas de tecnologias interativas de RV e RA para outros segmentos.

Os objetivos específicos podem ser definidos por:

- Desenvolver uma plataforma *Web* com protótipos educacionais de Realidade Virtual e Realidade Aumentada;
- Prover gratuitamente os recursos (marcadores fiduciais, modelos geométricos) para uso nos protótipos;
- Providenciar fácil acesso aos códigos-fonte das aplicações para que outras pessoas possam aprender sobre as bibliotecas e ferramentas utilizadas e, deste modo, auxiliar no desenvolvimento de novos projetos;
- Estabelecer uma curadoria de aplicativos gratuitos de outras produtoras que também podem ser interessantes na utilização de RV e RA na educação;

1.5 Organização

Este trabalho está organizado como descrito a seguir. O Capítulo 1 introduz a temática do projeto. O Capítulo 2 traz uma fundamentação teórica sobre o tema e conceitua o que caracteriza Realidade Aumentada e Realidade Virtual. No Capítulo 3, são reunidos alguns trabalhos relacionados de RV e RA e plataformas de mesma temática. O Capítulo 4 apresenta a abordagem proposta neste trabalho e são listadas as aplicações que foram elaboradas neste projeto. No Capítulo 5, aborda-se um estudo e a avaliação sobre a plataforma *VRTools* e as aplicações que a compõem. No Capítulo 6, são estabelecidas as considerações finais sobre a utilização da plataforma *VRTools* no ensino e a viabilidade de plataformas similares para outras áreas.

2 Fundamentação Teórica

Neste capítulo serão abordados os conceitos de Realidade Virtual e Realidade Aumentada e uma breve síntese sobre o funcionamento e uso dessas tecnologias.

2.1 Realidade Virtual

Realidade Virtual pode ser definida como uma interface que promove a navegação e contato em tempo real com elementos tridimensionais criados em um ambiente virtual (KIRNER; SISCOOTTO, 2007).

Os equipamentos mais comuns de Realidade Virtual, também presentes em Realidade Aumentada, são categorizados como *Head-Mounted Display* (HMD) (BIMBER; RASKAR, 2006). HMDs são equipamentos colocados sobre a cabeça do usuário que apresentam um dispositivo de visualização de dados, composto principalmente por telas posicionadas bem próximas aos olhos do usuário. Apresentam variadas formas, desde as mais comuns remetendo aos óculos convencionais como na Figura 2.1(a)² para RA e para RV na Figura 2.1(b)³, até dispositivos mais próximos a capacetes conforme representado na Figura 2.2(a)⁴ e na Figura 2.2(b)⁵.

Têm como principal característica projetar imagens renderizadas sobre a visão do usuário em uma interface com visores transparentes, usados em RA, ou telas em sistemas de RV. Através de sensores de posição e rotação, os movimentos do usuário são replicados para o ambiente virtual e tridimensional, propiciando uma navegação e contato em tempo real com aquele ambiente. Além disso, ainda podem apresentar dispositivos de áudio acoplados ao equipamento, como presentes nos capacetes de Realidade Virtual, incrementando o nível de imersão naquele universo.

²<https://www.vuzix.com/products>

³<https://mundoconectado.com.br/noticias/v/16048/huawei-anuncia-headset-vr-6-dof-que-se-conecta-ao-telefone>

⁴<https://www.techtudo.com.br/noticias/2017/10/samsung-lanca-headset-odyssey-para-realidade-mista.ghml>

⁵<https://www.geeky-gadgets.com/sensics-android-powered-3d-smart-goggles-video-10-01-2012/>



(a)



(b)

Figura 2.1: (a) Óculos de Realidade Aumentada da empresa *Vuzix*. (b) Óculos de Realidade Virtual *Huawei VR-Glass* da empresa *Huawei*.



(a)



(b)

Figura 2.2: (a) Capacete de Realidade Mista (Virtual + Aumentada) desenvolvido pela empresa *Samsung*. (b) Capacete de Realidade Virtual *Sensics Smart Goggles* desenvolvido pela empresa *Sensics*.

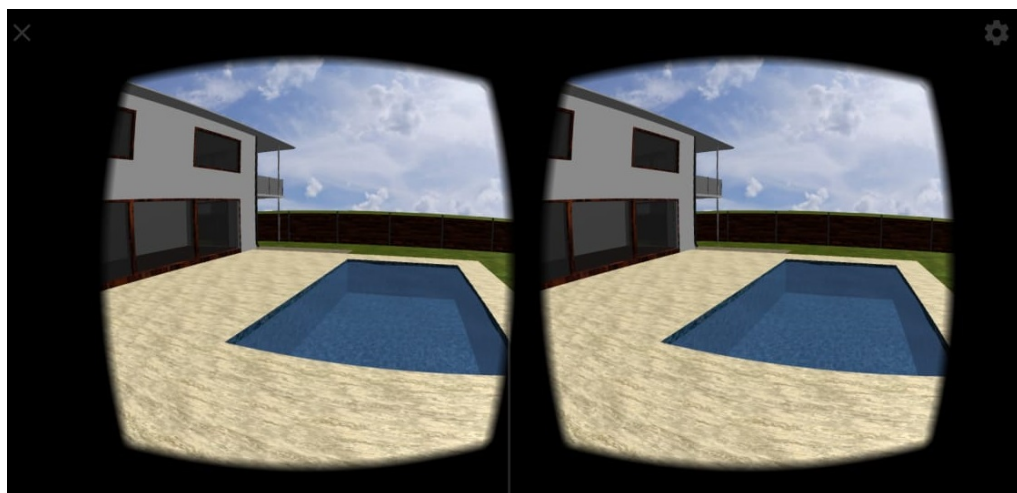


Figura 2.3: Imagem da aplicação de Arquitetura em RV presente na plataforma *VRTools* executada em um *Smartphone*.

Atualmente os aparatos tecnológicos de RV estão mais acessíveis. Nos computadores, é possível integrar acessórios como os da Figura 2.1(b), ou em dispositivos móveis, como os *Smartphones*, é possível simular os óculos de Realidade Virtual através do giroscópio presente no dispositivo e o uso de estereoscopia conforme representado na Figura 2.3. A Figura 2.3⁶ ilustra o acesso, através de um *Smartphone*, a uma aplicação voltada para a Arquitetura em RV. Contudo, para ter uma experiência de RV mais completa em um *Smartphone*, é possível utilizar acessórios que tornam o dispositivo similar a um óculos de RV, variando dos modelos mais simples como o kit do *Google CardBoard* (Figura 2.4(a)), para modelos mais robustos como *VR-Box*⁷ (Figura 2.4(b)).



(a)



(b)

Figura 2.4: (a) Armação do óculos de RV montada a partir do kit do *Google CardBoard* (GOOGLE, 2020). (b) Armação do óculos de RV do acessório *VR-Box*.

2.2 Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada propõe a combinação entre elementos do mundo real e elementos do mundo virtual por meio de um sistema ou dispositivo (AZUMA, 1997). Essa tecnologia interativa utiliza um sistema de rastreamento que analisa o ambiente real buscando encontrar um padrão determinado, e posteriormente, realiza o posicionamento dos elementos virtuais (BIMBER; RASKAR, 2005). Esse cenário é representado na Figura 2.5. Nesse cenário, câmeras ou sensores capturam imagens do mundo real, e então, um

⁶<https://avrgroup.github.io/vrtools/projects/architecture.html>

⁷<https://www.techtudo.com.br/listas/2020/05/melhores-jogos-para-vr-box-veja-lista-de-jogos-de-realidade-virtual.ghtml>

marcador fiducial ou natural registrado no software da aplicação é identificado pelo sistema de rastreamento presente na ferramenta. Através do marcador, o sistema calcula a posição e orientação onde será projetado o elemento virtual. Ao final do processo, o elemento virtual será desenhado na posição do marcador em uma interface visual (tela ou visor transparente), promovendo a visualização dos objetos virtuais e do ambiente real, além da interação entre os elementos reais e virtuais (AZUMA *et al.*, 2001).



Figura 2.5: Representação de elementos que auxiliam na composição de RA (ARANTES *et al.*, 2011).



(a)



(b)

Figura 2.6: Em (a), há um marcador fiducial utilizado no posicionamento de elementos virtuais. Em (b), uma aplicação em RA que projeta os componentes do Sistema Solar sobre o marcador.

Na atualidade, já é possível utilizar RA em computadores a partir de câmeras simples (*Webcams*) e em dispositivos móveis como *Smartphones* e *Tablets*. A Figura

2.6(a) representa um marcador fiducial que será identificado pela câmera para estabelecer onde serão posicionados os elementos virtuais, e a Figura 2.6(b) mostra o resultado final da Realidade Aumentada, no qual foi disposto sobre o marcador o planeta Terra.

3 Trabalhos Relacionados

Considerando que o foco deste projeto é promover uma plataforma de Realidade Virtual e Aumentada com foco em educação, a busca por trabalhos relacionados norteou-se a partir de aplicações isoladas com propostas de RV e RA, voltadas para a educação e de plataformas com finalidades similares ao *VRTools*.

3.1 Realidade Aumentada e Virtual no ensino

Macedo *et al.* (2013) apresentaram o uso de RA para o ensino sobre o conteúdo de Campo Girante de um Motor de Corrente Alternada. A aplicação foi desenvolvida para computador, direcionada a alunos do Ensino Superior. Um estudo foi realizado com um grupo de 44 estudantes e foi proposto um questionário avaliativo anterior e posterior ao uso da ferramenta. Os resultados do questionário mostraram que houve melhorias no aprendizado sobre o conteúdo ministrado.

Nunes, Muhlbeier e Costa (2015) propuseram a utilização de RA para o ensino de geometria plana e espacial. Uma pesquisa foi realizada com 18 alunos do 3º ano do Ensino Fundamental sobre a utilização da ferramenta desenvolvida. Resultados indicaram que a aplicação de RA colaborou para o entendimento e assimilação dos conteúdos estudados.

Uma aplicação voltada para dispositivos móveis foi desenvolvida em Pereira *et al.* (2017). Trata-se de um projeto direcionado à visualização de Superfícies Quádricas, tema presente nos cursos de Ciências Exatas no Ensino Superior, de maneira mais facilitada através de RA. Uma avaliação foi realizada em várias etapas para compreender a eficácia da ferramenta no aprendizado. Seus resultados expressam boa aceitação dos estudantes em utilizar essa ferramenta para complementar o aprendizado de Superfícies Quádricas.

Herpich e Tarouco (2019) apresentaram um estudo sobre o aplicativo “avatAR UFRGS”, voltado para dispositivos móveis. A RA é modelada para representar de maneira educativa os fenômenos físicos micro e macroscópicos. Um experimento da aplicação foi conduzido com um grupo de 208 estudantes do Ensino Fundamental e Médio, e estabeleceu

um comparativo dos meios de aprendizado tradicionais em sala de aula e a aplicação de RA a fim de complementar o ensino. Os resultados obtidos demonstraram que o potencial de ferramentas interativas como RA no contexto do aprendizado de Física é satisfatório.

No projeto de Palhano, Oliveira e Grossi (2019), foi apresentado o aplicativo “Augmented Polyhedrons”, que promove um ambiente interativo e gamificado em RA. Nesse ambiente, os estudantes do ensino fundamental podem visualizar de maneira tridimensional os sólidos geométricos na área da matemática. Um questionário qualitativo foi aplicado a um grupo de estudantes do 8º e 9º anos. Neste estudo, foi constatado que a maioria dos alunos desconhecia RA, no entanto, após a apresentação da tecnologia e realização dos experimentos, houve interesse por mais aplicações nessa linha para outros temas da matemática. Por fim, conclui-se que o projeto “Augmented Polyhedrons” facilitou o entendimento do conteúdo.

Em RV também há pesquisas na linha da educação. Martins *et al.* (2014) apresentaram uma aplicação de RV direcionada ao ensino de Português. A ferramenta projeta um ambiente virtual com salas e quadros com informações sobre regras de ortografia. O sistema propõe perguntas para os estudantes, através de elementos de gamificação, com o propósito de tornar mais divertida e interativa a experiência de uso da aplicação para os alunos. Um teste foi realizado com 23 alunos do Ensino Médio e, apesar de não possuir uma coleta de dados para uma avaliação, o experimento despertou nos alunos interesse por mais aplicações nessa linha de RV.

Baierle e Gluz (2017) direcionaram o uso de RV para a criação de um ambiente virtual e interativo voltado para o ensino sobre o período histórico da Revolução Industrial. Um estudo quantitativo foi realizado com 14 indivíduos a partir de um questionário sobre o impacto da ferramenta no aprendizado. Resultados mostraram um aumento no índice de acertos sobre os conteúdos vistos no ambiente simulado após a sua utilização. Além disso, a pesquisa apontou que ambientes virtuais, mundos tridimensionais e a Realidade Virtual podem ser interessantes para complementar o aprendizado de História.

Pulijala *et al.* (2018) propuseram o uso de RV no processo de ensino e treinamento para cirurgias na área da saúde. Um estudo sobre a ferramenta foi realizado com 91 estudantes da área da Saúde. Esse experimento indicou um ganho no conhecimento

sobre cirurgias e maior confiança aos estudantes por poderem visualizar uma simulação interativa de uma situação real.

Sumardani *et al.* (2020) desenvolveram um aplicativo para dispositivos móveis utilizando RV que busca simular a Teoria da Relatividade de Einstein. Por ser uma teoria de difícil entendimento na Física, a Realidade Virtual foi uma ótima aliada para complementar o conteúdo aprendido nos livros, através de uma simulação mais complexa e detalhada sobre o tema. Nos estudos gerados, 83,33 % dos testes obtiveram êxito na utilização da ferramenta, representando um sucesso da utilização de RV em apresentar o tema proposto.

3.2 Plataformas de RV e RA

Até o momento, não há uma plataforma de acesso fácil, intuitiva, e que possibilite a utilização de um conjunto de aplicações em RV e RA por estudantes e professores através de dispositivos de baixo custo ou uma ferramenta que promova um contato inicial para conhecer essas tecnologias aplicadas na educação.

Dada esta realidade, este trabalho propõe a plataforma *VRTools* para o cenário citado, apresentando aplicações das mais variadas áreas no ensino. Através da plataforma proposta, estudantes e professores podem ter um contato inicial com as tecnologias interativas de RV e RA por meio de dispositivos de baixo custo.

4 Abordagem Proposta

Neste capítulo é apresentada a abordagem proposta de desenvolvimento de uma plataforma com aplicações educacionais em RV e RA.

4.1 VRTools

Através de uma pesquisa bibliográfica, notou-se que para a utilização da maioria das aplicações de finalidade similar, era necessária a instalação de arquivos auxiliares, seja de bibliotecas ou a própria aplicação. Dessa forma, optou-se pelo desenvolvimento de uma plataforma *Web* de acesso amplo, fácil e irrestrito através dos mais diversos dispositivos, tanto computadores quanto dispositivos móveis. A plataforma *VRTools*⁸ (Figura 4.1) possui versões nos idiomas Português e Inglês, possibilitando que pessoas de outros países também possam conhecer essas tecnologias interativas de RV e RA, e até utilizá-las nas aplicações presentes na ferramenta, sem a necessidade de um conhecimento muito aprofundado, além de contar com a praticidade de utilizar a ferramenta sem instalar outros recursos.

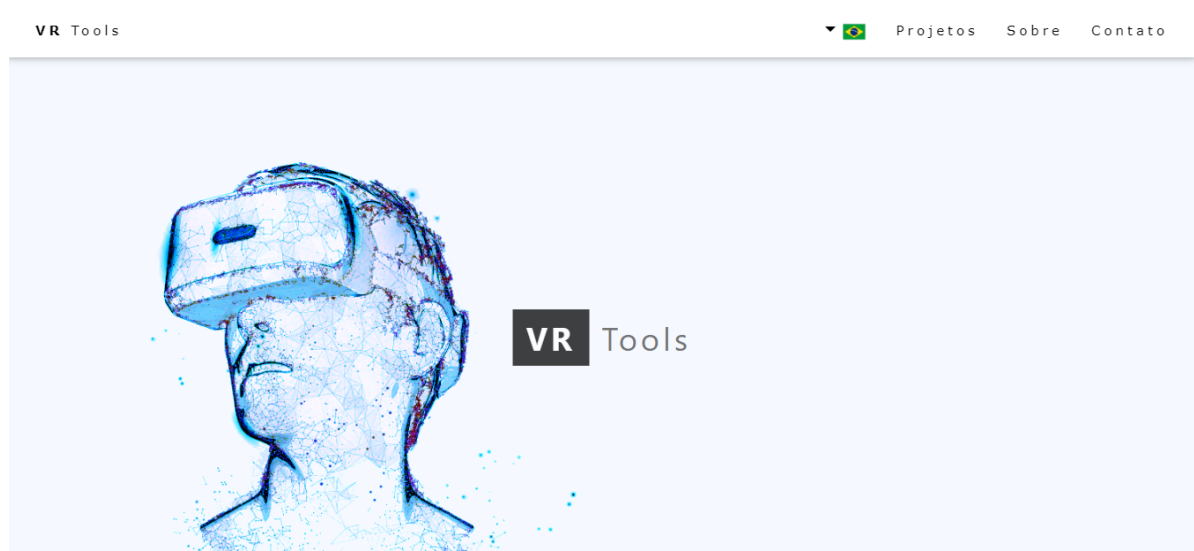


Figura 4.1: Página inicial do site da plataforma *VRTools*

A plataforma ainda apresenta uma curadoria de alguns aplicativos gratuitos de

⁸(<https://avrgroup.github.io/vrtools/?lang=pt-BR>)

outras produtoras que podem ser interessantes na utilização de RV e RA na educação. Esse material complementar permite ao usuário da ferramenta a visualização de mais exemplos de uso dessas tecnologias no escopo educacional (Figura 4.2).

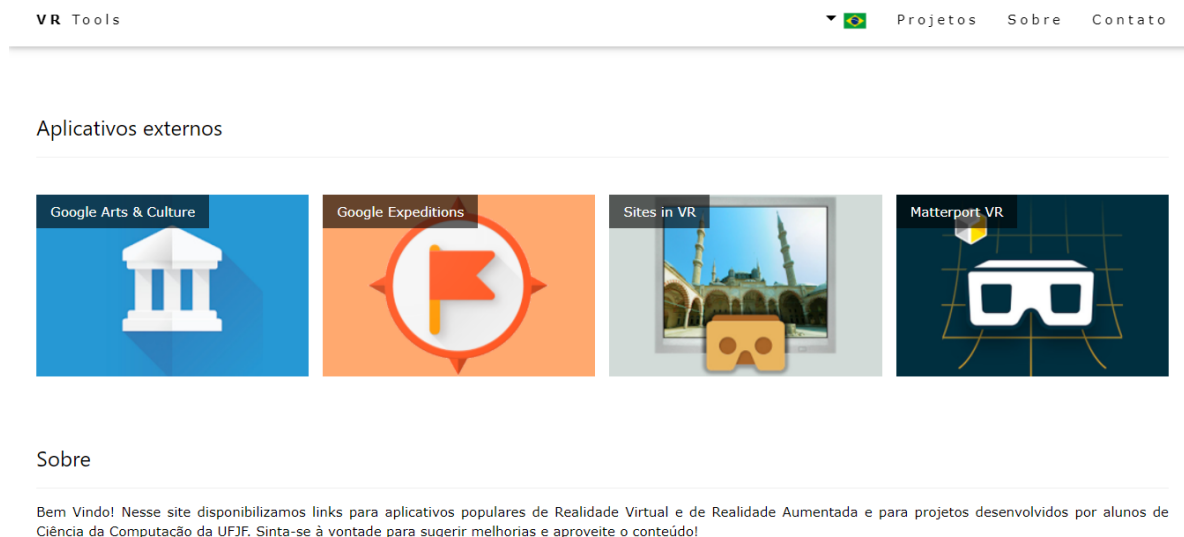


Figura 4.2: Aplicativos acurados sobre outros projetos de Realidade Virtual e Realidade Aumentada

Por fim, temos a parte mais importante da plataforma que são as aplicações desenvolvidas neste projeto (Figura 4.3). Atualmente, a plataforma é composta por oito aplicações (Sólidos Platônicos, Sistema Solar, Arquitetura, Movimento de Projéteis, Plano Inclinado, Doenças Vasculares, Viagem Virtual e Figuras Históricas) desenvolvidas pela equipe do projeto, os quais, somente três delas (Sólidos Platônicos, Sistema Solar e Plano Inclinado) estavam finalizadas e disponíveis no período no qual o estudo preliminar da plataforma foi realizado.

Cada aplicação contém uma página com as informações descritivas sobre o tema. Além dos modos de utilização da aplicação, apresenta imagens ilustrativas das aplicações em RV e RA e as referências bibliográficas utilizadas para redigir os textos sobre os temas.

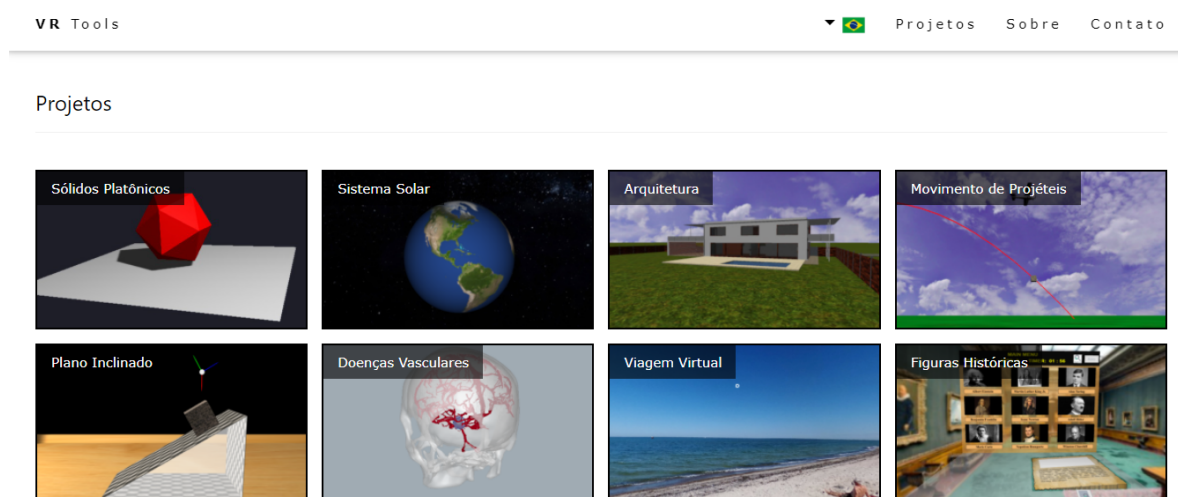


Figura 4.3: Aplicações desenvolvidas para a plataforma *VRTools*

4.2 Tecnologias utilizadas

As tecnologias base para este projeto podem ser condensadas nas seguintes bibliotecas de desenvolvimento *Web* de *Javascript* e *HTML5*:

1. *Three.js*: É uma biblioteca que visa a apresentar recursos para auxiliar na criação de projetos e aplicações de Computação Gráfica na *Web*. Apesar de nativamente os navegadores de internet já apresentarem *WebGL* para essa finalidade, a *Three.js*⁹ (Figura 4.4) provê elementos, funções e estruturas que facilitam o desenvolvimento.

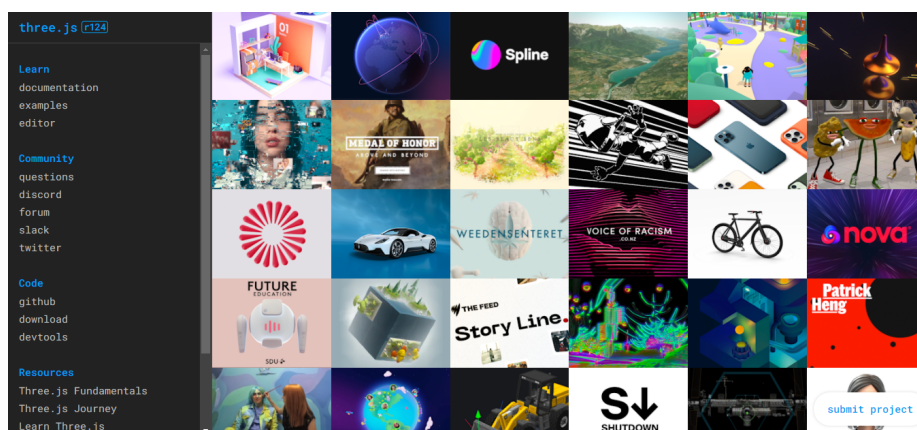


Figura 4.4: Site da biblioteca *Three.js* com a documentação e exemplos de aplicações.

2. *AR.js*: Com o advento crescente de tecnologias de RA e a ampliação das aplicações

⁹<https://threejs.org/>

Web, a *AR.js*¹⁰ surgiu com a proposta de auxiliar no desenvolvimento de aplicações em RA nesse ambiente. A aplicação criada pode ser executada tanto em dispositivos móveis, quanto em computadores, desde que o aparelho possua ao menos uma câmera. Há ainda a possibilidade de trabalhar com a funcionalidade de rastreamento de um marcador, como as aplicações presentes na plataforma *VRTools* desenvolvidas neste projeto, rastreamento por localização e por imagem, conforme presente no site da biblioteca (Figura 4.5).

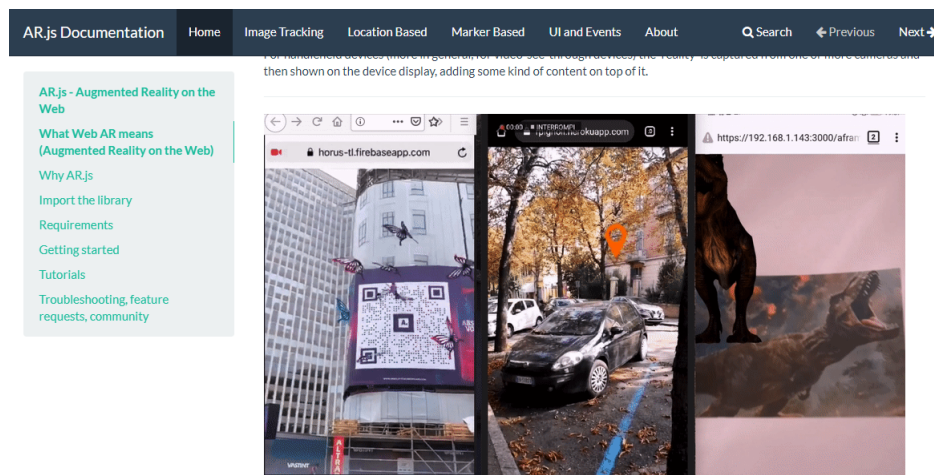


Figura 4.5: Site da biblioteca *AR.js* com a documentação e exemplos de aplicações que utilizam rastreamento de marcadores, de localização e de imagem.

3. *A-Frame*: É uma biblioteca com recursos que permitem trabalhar com Realidade Virtual e pode ser aplicada em conjunto à *Three.js* e *AR.js*. *A-Frame*¹¹ (Figura 4.6) apresenta funções que estabelecem a navegação e interação com o ambiente virtual e possibilita o uso de HMDs ou outros acessórios. Pode ser utilizada nos *Smartphones* e estabelece a navegação por meio do giroscópio presente no dispositivo. Nos computadores, a aplicação é executada de maneira mais completa quando usado um HMD auxiliar.

¹⁰ <https://ar-js-org.github.io/AR.js-Docs/>

¹¹ <https://aframe.io/>

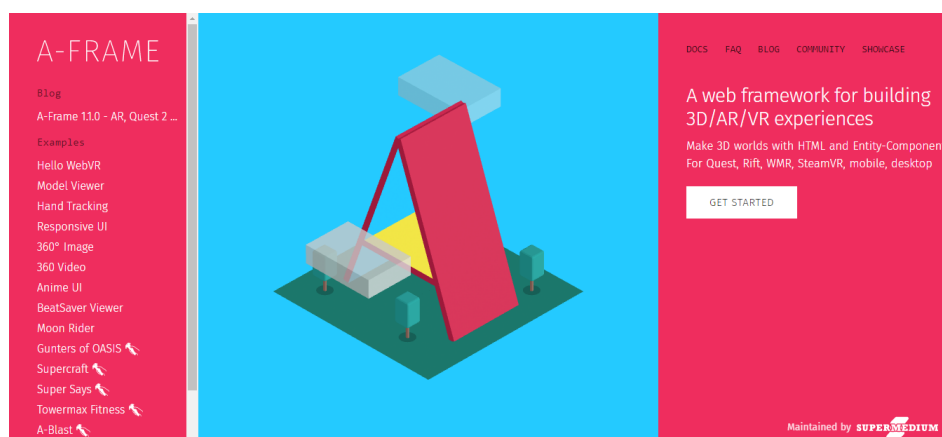


Figura 4.6: Site da biblioteca *A-Frame* com a documentação e exemplos de aplicação.

4.3 Aplicações

Neste capítulo serão abordadas as aplicações presentes na plataforma no contexto educacional desenvolvidas até a elaboração do estudo qualitativo.

As aplicações listadas neste capítulo são apresentadas com três interfaces de utilização. A primeira é a mais básica, sendo esta em computação gráfica e pode ser acessada através do navegador de internet. A segunda versão é em Realidade Aumentada, no qual são necessários um computador e uma câmera auxiliar, ou um dispositivo móvel com câmera inclusa, além do marcador fiducial. Por fim, a última versão é em Realidade Virtual e sua execução pode ocorrer em um computador por meio de um navegador de internet ou em dispositivos móveis como um *Smartphone*. Contudo, para se ter uma experiência completa em um computador, é necessária a utilização de HMDs ou óculos de Realidade Virtual, conforme listados no Capítulo 2.

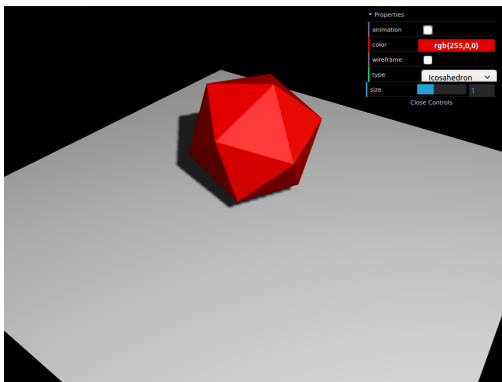
4.3.1 Sólidos Platônicos

A primeira aplicação desenvolvida neste trabalho estabelece a visualização dos Sólidos Platônicos¹², também conhecidos como poliedros regulares (Figura 4.7). De acordo com Weisstein (2003), são estruturas compostas por faces na forma de polígonos regulares e congruentes entre si, nos quais, o número de faces concorrentes em cada vértice é sempre o mesmo. Esse grupo de sólidos é constituído por cinco elementos, sendo eles: o Tetraedro

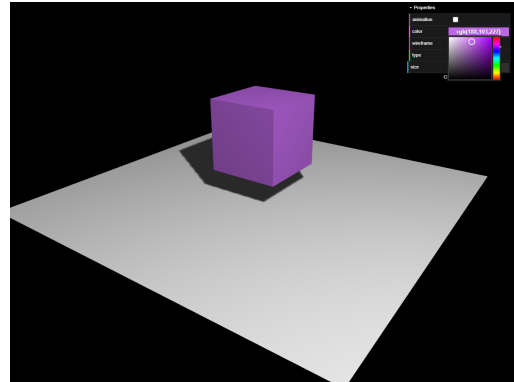
¹²<https://avrgroup.github.io/vrtools/projects/platonic-solids.html>

(4 lados), Cubo ou Hexaedro (6 lados), Octaedro (8 lados), Dodecaedro (12 lados) e Icosaedro (20 lados).

Na Figura 4.7, é ilustrada a representação de um icosaedro e de um cubo na interface em Computação Gráfica via navegador. Já na Figura 4.8, a interface exibe, em Realidade Aumentada, os mesmos objetos sobre um marcador fiducial. Finalmente, na Figura 4.9, é demonstrada a simulação dos sólidos platônicos em Realidade Virtual com suporte de um menu auxiliar para facilitar a interatividade do usuário em um ambiente de Realidade Virtual (Figura 4.10).

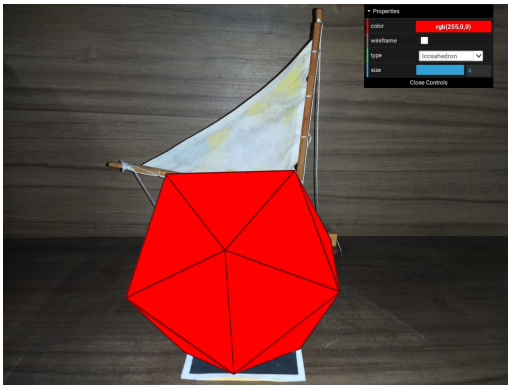


(a)

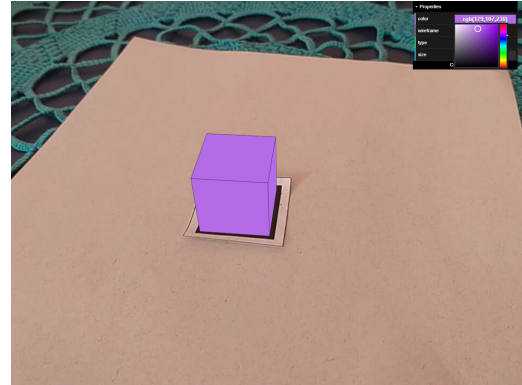


(b)

Figura 4.7: Aplicação de Sólidos Platônicos sendo executada em um navegador com a representação de um icosaedro em (a) e de um cubo em (b).



(a)



(b)

Figura 4.8: Aplicação de Sólidos Platônicos sendo executada em Realidade Aumentada com a representação de um icosaedro em (a) e de um cubo em (b), ambos posicionados sobre o marcador.

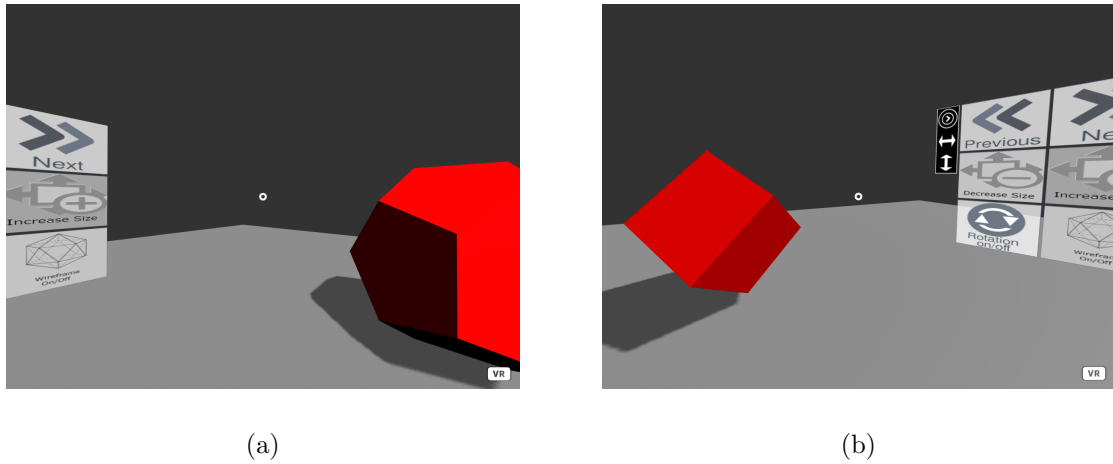


Figura 4.9: Aplicação de Sólidos Platônicos sendo executada em Realidade Virtual com a representação de um icosaedro em (a) e de um cubo em (b).

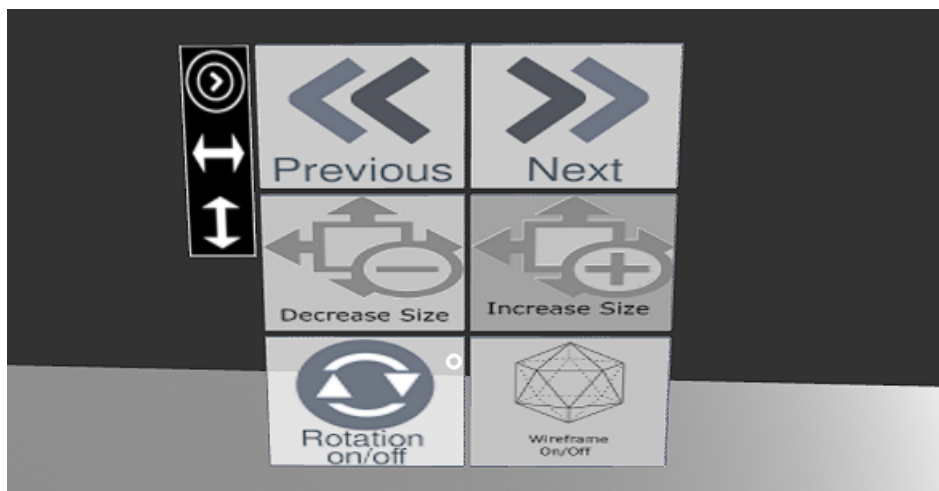


Figura 4.10: Menu auxiliar com o objetivo de facilitar a interação em Realidade Virtual na aplicação sobre os sólidos platônicos.

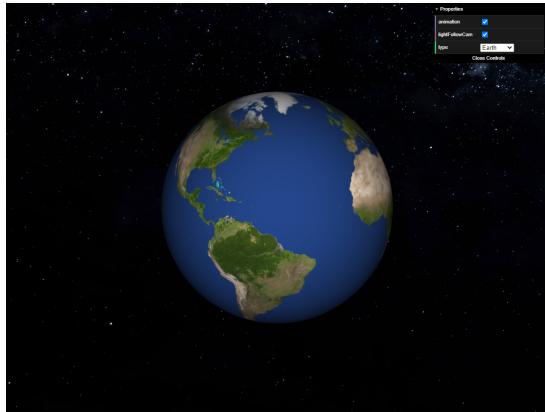
4.3.2 Sistema Solar

A segunda aplicação desenvolvida tem como foco o ensino sobre o nosso Sistema Solar¹³ (Figura 4.11). O Sistema Solar, de acordo com Owen (2020), é o conjunto de corpos celestes tais como planetas, asteroides, cometas e outros, que orbitam o Sol.

Os elementos de maior destaque deste sistema, além do Sol e a Lua, são seus oito planetas: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Em concepções passadas, Plutão também era considerado um planeta, mas na atualidade é classificado no segmento de Planetas Anões. Todos os planetas, a Lua e o Sol podem ser vistos no navegador com resolução padrão e em alta qualidade (Figura 4.11). Essa

¹³<https://avrgroup.github.io/vrtools/projects/solar-system.html>

segunda opção demora mais tempo para ser carregada devido ao tamanho das imagens utilizadas como textura dos corpos celestes. A aplicação também apresenta cada componente individualmente sobre o marcador em RA (Figura 4.12) e uma simulação mais completa dos planetas orbitando o Sol em RV (Figura 4.13).



(a)

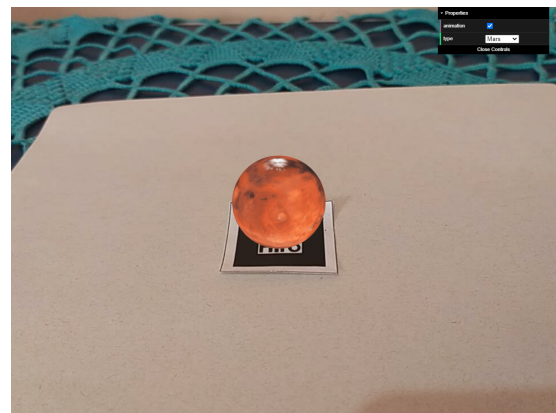


(b)

Figura 4.11: Aplicação do Sistema Solar sendo executada em um navegador com a representação do planeta Terra em (a) e da Lua em (b).



(a)



(b)

Figura 4.12: Aplicação do Sistema Solar sendo executada em Realidade Aumentada com a representação do planeta Terra em (a) e do planeta Marte em (b), ambos posicionados sobre o marcador.

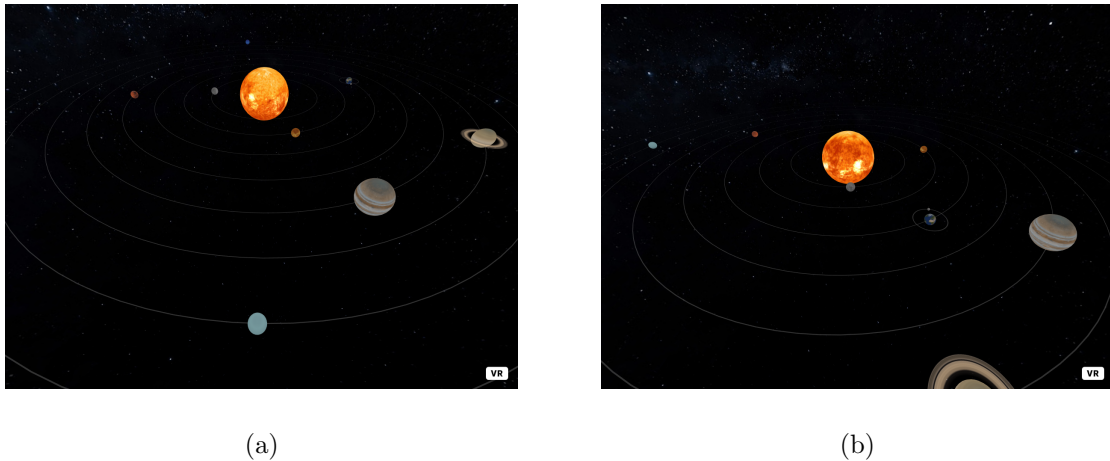


Figura 4.13: Aplicação do Sistema Solar sendo executada em Realidade Virtual com a representação dos corpos celestes e suas órbitas, tanto em (a) quanto em (b).

4.3.3 Plano Inclinado

A terceira aplicação¹⁴ desenvolvida apresenta uma simulação de um dos exemplos mais clássicos de mecânica presente na Física do ensino básico (Figura 4.15). A aplicação aborda como as forças atuam sobre um corpo situado em um plano inclinado (KHAN ACADEMY, 2012). Esse cenário é composto por uma caixa ou bloco, posicionada sobre um plano inclinado e as forças atuantes nessa mecânica. As forças mais elementares nessa situação são: Força de Atrito, Peso e Normal.

A Figura 4.15 mostra a aplicação sendo executada em navegador de internet, e nela, uma simulação física das forças atuantes sobre um corpo situado em um plano inclinado é mostrada. A aplicação permite ao usuário modificar os valores do coeficiente de atrito do bloco e a angulação da rampa para verificar o impacto na cena. No decorrer da simulação, ainda é mostrado o diagrama de forças sobre o objeto e, através do menu lateral, o usuário pode visualizar um painel informativo com as principais equações das forças que compõem a dinâmica nesse cenário, com seus respectivos valores, conforme ilustrado na Figura 4.14.

Já na Figura 4.16, é apresentada a mesma simulação em Realidade Aumentada, e na Figura 4.17, é demonstrada a simulação em Realidade Virtual com suporte de um menu auxiliar para facilitar a interatividade do usuário em um ambiente de Realidade Virtual (Figura 4.18).

¹⁴<https://avrgroup.github.io/vrtools/projects/inclined-plane.html>

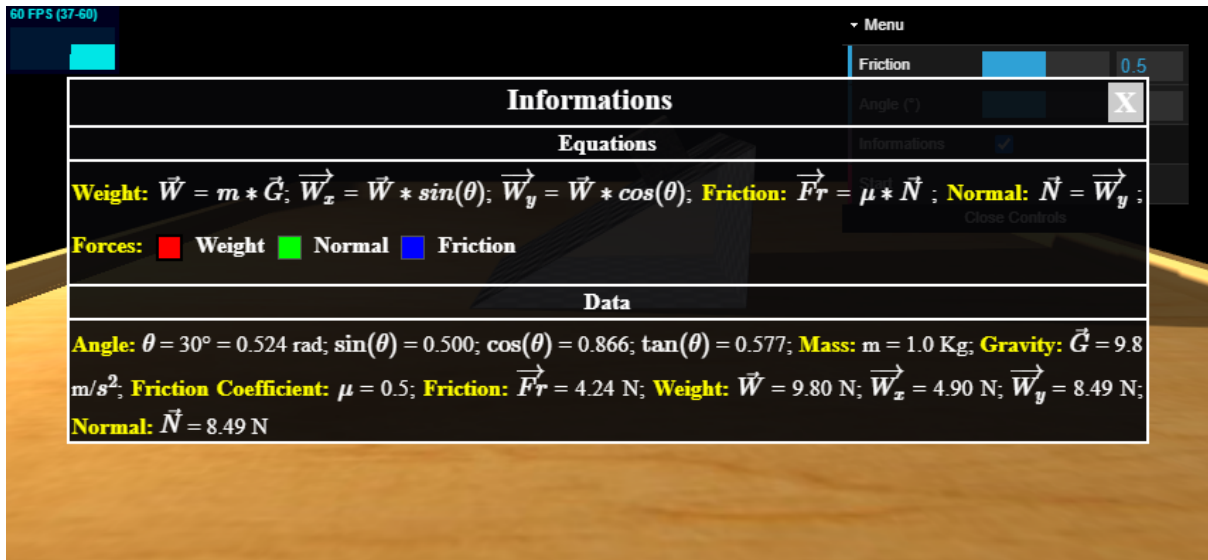
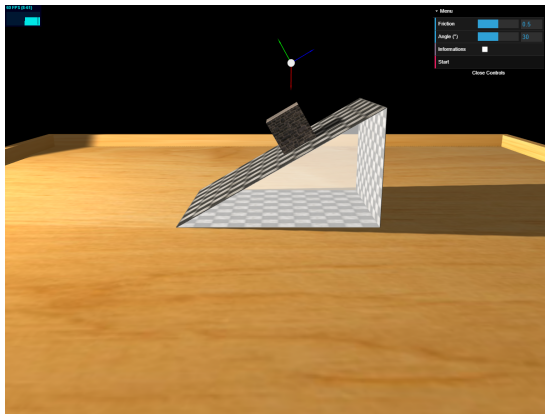
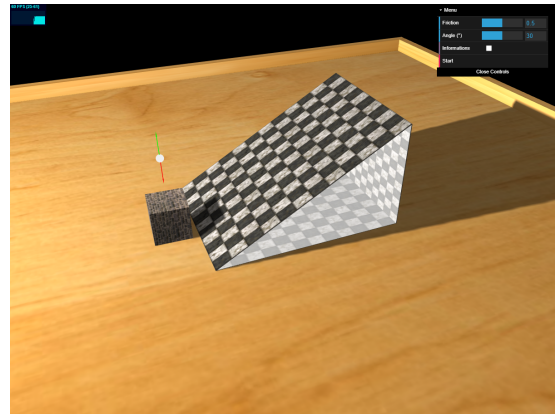


Figura 4.14: Painel de informações com equações físicas e valores das forças na aplicação sobre plano inclinado.

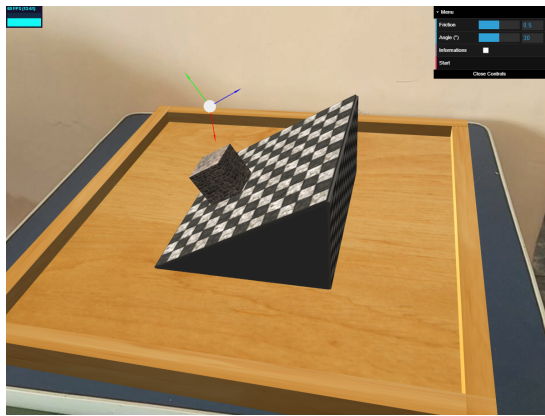


(a)

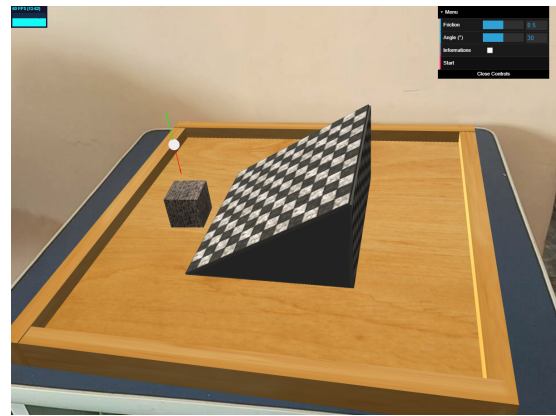


(b)

Figura 4.15: Aplicação de Plano Inclinado sendo executada em um navegador com o diagrama de forças sobre o bloco variando de acordo com a situação em (a) e em (b).

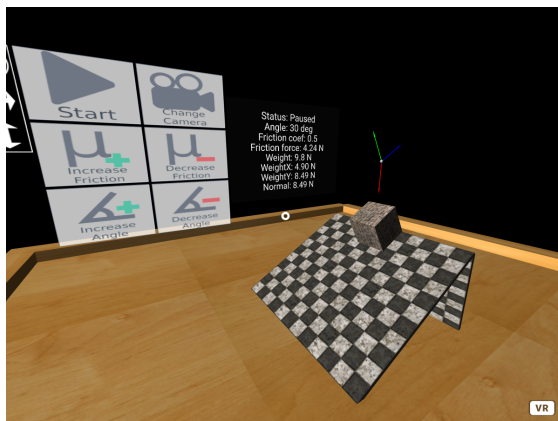


(a)

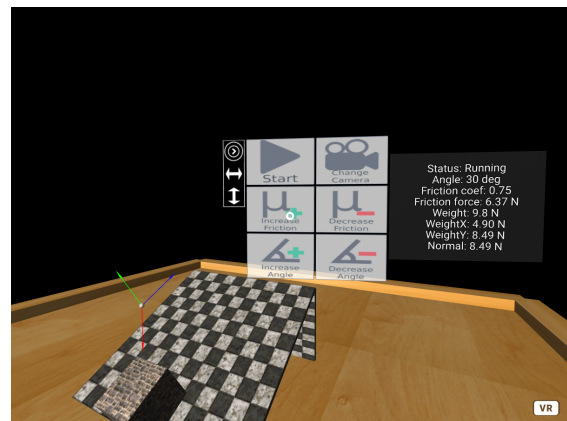


(b)

Figura 4.16: Aplicação de Plano Inclinado sendo executada em Realidade Aumentada com o bloco deslizando da situação em (a) para (b).



(a)



(b)

Figura 4.17: Aplicação de Plano Inclinado sendo executada em Realidade Virtual.

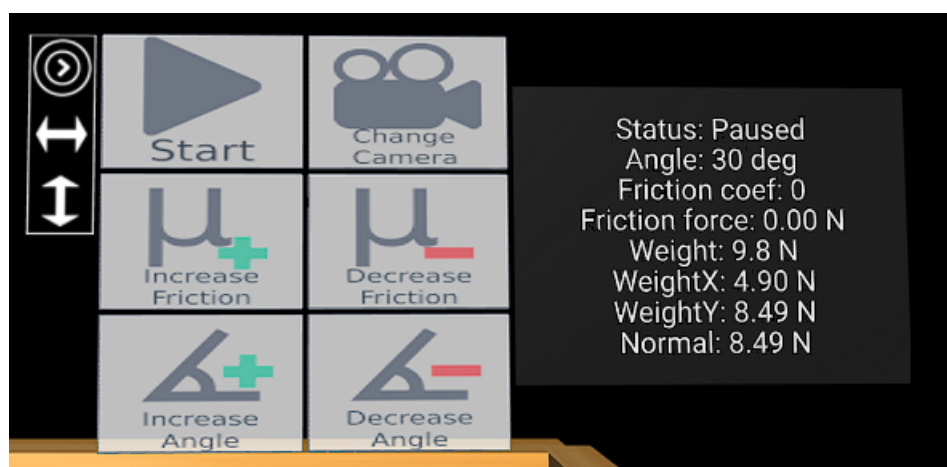


Figura 4.18: Menu auxiliar com o objetivo de facilitar a interação em Realidade Virtual na aplicação sobre o plano inclinado.

5 Avaliação da plataforma

Este capítulo expõe um estudo qualitativo e estabelece uma avaliação sobre a plataforma *VRTools* e sua aplicação complementar no ensino.

Está organizado nas seguintes subseções: 5.1 - Estabelece o grupo de participantes que contribuíram para a execução do estudo e testes da plataforma e avaliação; 5.2 - Apresenta o método de avaliação utilizado e uma análise descritiva de como foi realizado; 5.3 - Expõe os resultados gerados a partir do estudo.

5.1 Caracterização dos Participantes

Devido às dificuldades técnicas ocasionadas pela pandemia de COVID-19¹⁵, optou-se por um grupo de participantes mais diversificado. Este estudo contou com a colaboração de 21 participantes. Os participantes foram, essencialmente, indivíduos com faixa etária de 16 a 43 anos. Em relação à escolaridade, 61,9% possuíam ensino médio ou ensino superior incompleto, e 38,1% apresentavam curso superior ou pós-graduação (Figura 5.1).

Escolaridade

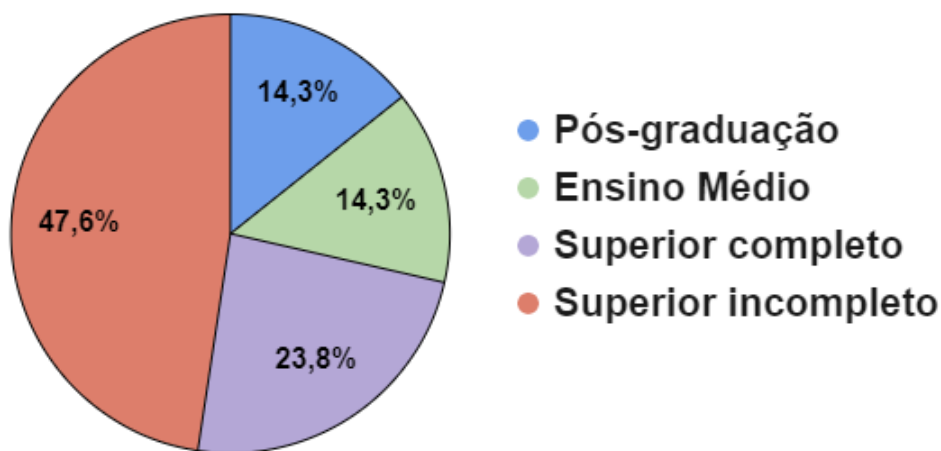


Figura 5.1: Gráfico representativo da escolaridade dos participantes do estudo.

¹⁵<https://www.bbc.com/portuguese/geral-51842518>

5.2 Método de Avaliação

Devido ao isolamento social ocasionado pela pandemia mundial do vírus SARS-COV-2 e à doença COVID-19, não foi possível realizar um estudo e teste da plataforma no ambiente de sala de aula, logo, o planejamento foi adaptado a essa nova realidade.

A avaliação da experiência em Realidade Virtual não foi considerada, pois em um ambiente de isolamento social muitos não possuíam os HMDs ou óculos de Realidade Virtual, e utilizar em um *Smartphone* demandaria que os integrantes adquirissem HMDs mais básicos (Figura 2.4(b)) ou mesmo construíssem seus próprios HMDs, como por exemplo um *Google CardBoard* (Figura 2.4(a)), para obter uma experiência completa.

No novo planejamento da avaliação, definiu-se que os participantes receberiam inicialmente apostilas virtuais contendo as instruções de participação no estudo. Com base na apostila, a plataforma *VRTools* foi utilizada como apoio ao processo de ensino-aprendizagem de dois conteúdos: a) Sólidos Platônicos; b) Sistema Solar. Ao término, os participantes responderam a um questionário *follow-up* que contribuiu para a análise do potencial de impacto do *VRTools* na motivação dos envolvidos. Além disso, buscou-se coletar visões diferentes sobre a aplicabilidade da ferramenta no ensino e possíveis sugestões de melhorias.

O questionário foi desenvolvido a partir do *Google Forms*¹⁶ (Figura A.1) por facilitar o acesso à distância. Ele foi iniciado com questões de caracterização dos participantes. Em seguida, seguiu com a apresentação de afirmações relacionadas à autopercepção de motivação dos participantes. As respostas foram associadas a uma escala *Likert* de cinco níveis, contendo um nível intermediário, conforme sugerido por Laitenberger e Dreyer (1998).

As afirmações foram as seguintes: O interesse sobre o conteúdo cresceu com o uso do *VRTools*; Utilizar o *VRTools* me deixou mais motivado do que participar de uma atividade tradicional em sala de aula; Utilizar o *VRTools* me deixou mais propenso a explorar o conteúdo abordado; Visualizar os conteúdos tridimensionalmente através do *VRTools* facilitou minha compreensão dos temas abordados em comparação à visualização das imagens bidimensionais apresentadas; Eu entendi facilmente como utilizar a plataforma

¹⁶Formulário de Avaliação - <http://bit.ly/3p4eHSZ>

seguindo as instruções passadas; Não ter que instalar aplicativos contribuiu para o uso da plataforma. Ao final, incluímos uma questão aberta onde os participantes poderiam indicar sugestões de melhoria para a plataforma.

Antes da realização da avaliação principal, um piloto foi conduzido com um participante. A avaliação piloto teve por objetivo identificar possíveis fragilidades do plano de avaliação e produzir melhorias antes da avaliação principal. Após a aplicação deste piloto, optou-se pela utilização apenas da aplicação de Sólidos Platônicos e Sistema Solar ao invés de incluir a aplicação de Plano Inclinado, dado que a realização do experimento demandava um tempo considerável de mais de 20 minutos apenas para as duas aplicações iniciais, leitura da apostila instrucional e preenchimento do questionário.

5.3 Resultados

Os resultados sobre a avaliação do *VRTools* estão sumarizados na Figura 5.2. Nota-se que 76,2% dos participantes tiveram um aumento no interesse sobre o conteúdo ao utilizar a ferramenta, enquanto 23,8% foram indiferentes ou discordaram, como representado na Figura 5.2(a).

Cerca de 90,0% dos participantes relataram que a ferramenta os deixariam mais motivados para o aprendizado em comparação à mesma atividade em sala de aula. Nesse ponto, 10% discordaram ou foram indiferentes, como ilustrado na Figura 5.2(b).

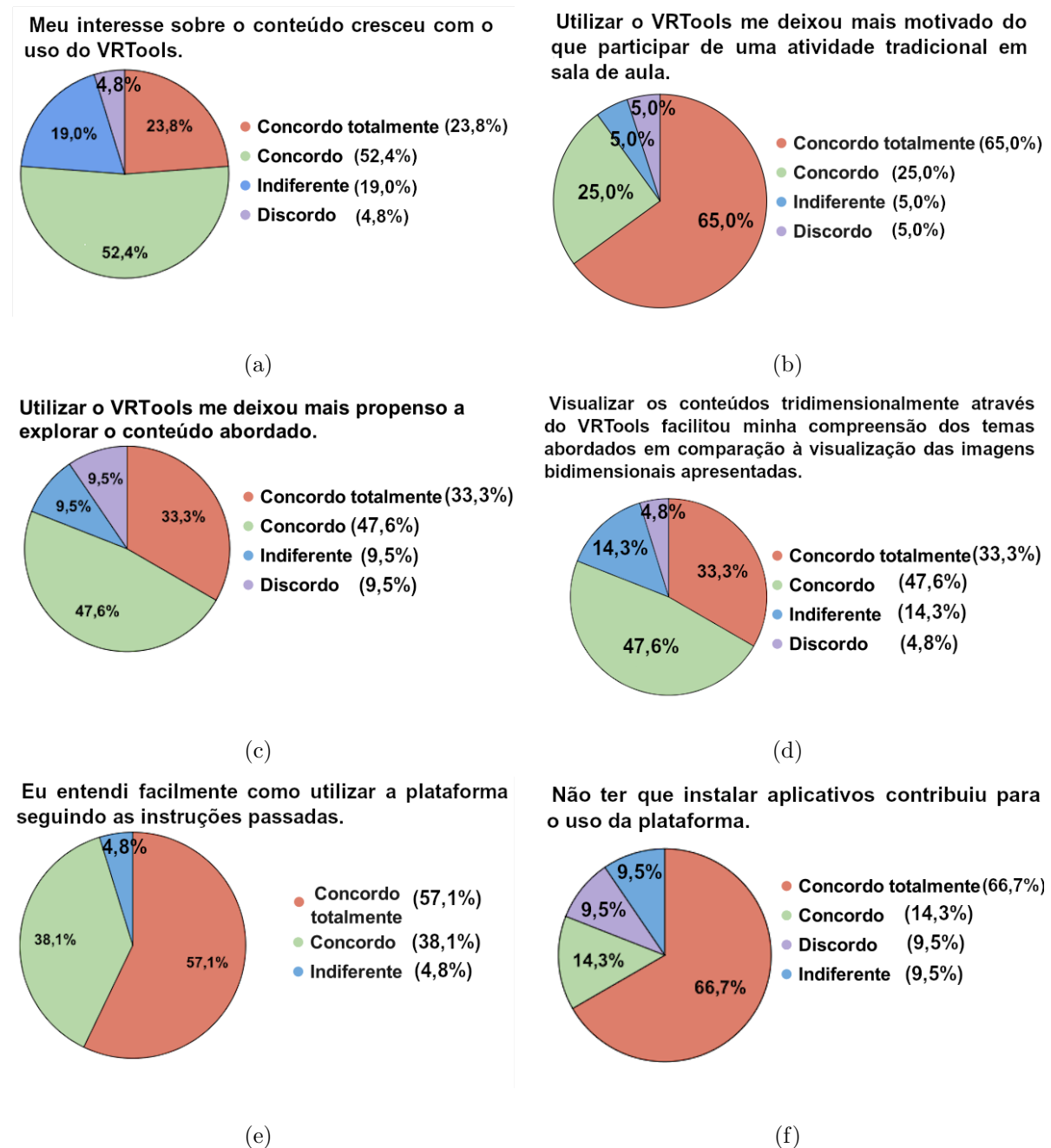


Figura 5.2: Resultados da avaliação da plataforma com o público-alvo selecionado.

A utilização do *VRTools* aumentou a propensão a explorar o conteúdo abordado em 81% dos participantes. Para 19%, a avaliação do item foi indiferente ou em desacordo, conforme ilustrado na Figura 5.2(c). Visualizar os conteúdos tridimensionalmente através do *VRTools* facilitou a compreensão dos temas abordados em comparação à visualização das imagens bidimensionais para 80,9%. Contudo, 4,8% discordaram, e para 14,3% foi indiferente a influência da visualização no aprendizado (Figura 5.2(d)).

Foi satisfatório o entendimento das instruções de utilização da ferramenta para

95,2% dos participantes e indiferente para 4,8% (Figura 5.2(e)). Por fim, 81% dos participantes afirmaram que não ter que instalar aplicativos contribuiu para o uso da plataforma (Figura 5.2(f)).

Como observações dos usuários respondidas na questão aberta, foi relatado que a utilização de Realidade Aumentada com o marcador fiducial projetado em uma tela pode resultar em uma captura ineficiente da imagem, ao contrário do que ocorre ao imprimir o marcador em uma folha. Isso se sucede, pois na tela do computador, a depender do ângulo de captura da imagem, podem aparecer reflexos da fonte de luz na tela, o que de fato atrapalha a correta captura do marcador fiducial. Outro problema relatado foi o não reconhecimento adequado do marcador em determinadas inclinações. Isso é uma característica geral da Realidade Aumentada, pois a angulação é um fator limitante para a detecção do marcador. Esse comentário auxiliou na correção dessa instrução na plataforma, indicando o melhor posicionamento da câmera para registro do marcador.

Foi assinalado por um participante o fato do menu da aplicação executada no navegador encobrir o objeto 3D quando o celular está na posição vertical, prejudicando a experiência de uso, sendo o mais ideal utilizar a aplicação com o celular na posição horizontal. Essa indicação de uso será incluída na plataforma.

Por fim, houve crítica na ausência de interação com os objetos 3D quando no ambiente de RA, prejudicando a experiência do participante no aprendizado daquele objeto de estudo. Em RA, usualmente a interação com o objeto é realizada através da movimentação da câmera ou do marcador fiducial. Não é comum prover meios para interagir com o objeto diretamente. Está sendo analisada a melhor forma de instruir essa forma de interação na plataforma.

De modo semelhante às sugestões técnicas ressaltadas pelos usuários, foi posta uma observação conceitual: os planetas apresentavam todos a mesma escala no aplicativo de sistema solar e isso poderia gerar confusão em quem aprende sobre o tema. A escolha por colocar os planetas com pouca variação de tamanho entre eles foi para melhorar a experiência de visualização. Mas seguindo o questionamento do participante, será incluída uma ressalva na plataforma, indicando que as escalas foram alteradas para aprimorar a visualização de todos os planetas em um mesmo ambiente.

6 Considerações Finais

6.1 Conclusão

Este projeto teve como objetivo introduzir uma plataforma *Web* para servir como repositório de projetos educacionais para visualização de conteúdos interativos, utilizando recursos de Computação Gráfica, Realidade Aumentada e Realidade Virtual. Foram incluídos na plataforma proposta projetos consolidados de terceiros, bem como projetos autorais desenvolvidos em nosso grupo de pesquisa.

Em relação aos projetos autorais desenvolvidos para a plataforma, foram exploradas três aplicações, uma da área da Matemática versando sobre visualização de Sólidos Platônicos, outra da área de Ciências, com informações sobre o Sistema Solar, e a última também da área de Ciências, mais especificamente da parte da Física, com uma simulação sobre as forças atuantes em um plano inclinado. Esses projetos possuem visualização interativa utilizando recursos de CG, RA e RV.

Foram conduzidos uma avaliação e um estudo da plataforma desenvolvida com foco nas duas primeiras aplicações autorais mencionadas. Esta avaliação teve como objetivo analisar, sob a ótica dos participantes, o potencial de aumento da motivação dos envolvidos em relação ao estudo dos temas abordados.

Participaram da avaliação 21 pessoas. A avaliação da plataforma foi bastante positiva e mais de 70% dos participantes julgaram que a plataforma poderia potencialmente aumentar o interesse na exploração dos temas selecionados. Foi revelado também que, para mais de 90% dos participantes, a plataforma teria potencial de aumentar a motivação no estudo dos conteúdos. A visualização dos conteúdos tridimensionalmente facilitou a compreensão do conteúdo em relação às imagens bidimensionais para mais de 80% dos participantes, e, as instruções de uso da plataforma estavam suficientemente claras para mais de 95% deles. Por fim, mais de 80% dos participantes afirmaram que não ter que instalar aplicativos adicionais contribuiu para o uso da plataforma.

Dessa maneira, as evidências coletadas apontam para o potencial da plataforma

em influenciar positivamente a motivação dos estudantes em processos de aprendizagem à distância. Observou-se também que a plataforma é capaz de ser uma aliada no contexto educacional, mesmo diante das restrições de isolamento impostas pela pandemia de COVID-19, constituindo um meio acessível, aberto e gratuito.

Dessa forma, conclui-se haver um potencial a ser melhor explorado para plataformas de RV e RA tanto para o contexto educacional quanto para outros ramos do conhecimento, seja para estudantes utilizarem na complementação do ensino tradicional, ou para que novas pessoas possam explorar e conhecer essas tecnologias a partir das aplicações.

6.2 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, pretende-se incluir as oportunidades de melhoria e novos requisitos elicitados através da avaliação, realizar uma nova avaliação da plataforma com as aplicações em RV e RA no ambiente de sala de aula, bem como efetuar novas avaliações para coletar evidências sobre o impacto na retenção do conteúdo, sobre a viabilidade de aprendizado em times colaborativos e, sobre a perspectiva do docente ao utilizar a plataforma em suas práticas pedagógicas. Além disso, pretende-se complementar a plataforma com mais aplicações de RV e RA e, posteriormente, um aplicativo para *Smartphones* será desenvolvido, com o objetivo de melhorar o acesso a esse tipo de conteúdo aos mais diversos públicos.

Bibliografia

ARANTES, W. V. *et al.* Uma estratégia para uso de múltiplas câmeras em sistemas de realidade aumentada baseados em marcadores fiduciais. Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

AZUMA, R.; BAILLOT, Y.; BEHRINGER, R.; FEINER, S.; JULIER, S.; MACINTYRE, B. Recent advances in augmented reality. **IEEE computer graphics and applications**, IEEE, v. 21, n. 6, p. 34–47, 2001.

AZUMA, R. T. A survey of augmented reality. **Presence: Teleoperators & Virtual Environments**, MIT Press, v. 6, n. 4, p. 355–385, 1997.

BAIERLE, I. L. F.; GLUZ, J. Watt: Imersão 3D compartilhada e acessível na realidade virtual do surgimento da revolução industrial. In: **Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)**. [S.l.: s.n.], 2017. v. 28, n. 1, p. 585.

BIMBER, O.; RASKAR, R. **Spatial augmented reality: merging real and virtual worlds**. [S.l.]: CRC press, 2005.

BIMBER, O.; RASKAR, R. Modern approaches to augmented reality. In: **ACM SIGGRAPH 2006 Courses**. [S.l.: s.n.], 2006. p. 1–es.

GOOGLE. **Google Cardboard**. 2020. Disponível em: <https://arvr.google.com/cardboard/>. Acesso em: 14 jan. 2021.

HERPICH, F.; TAROUÇO, L. M. R. Análise das experiências educacionais dos estudantes com simulações em realidade aumentada móvel para o desenvolvimento do conhecimento em física. In: **Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação**. [S.l.: s.n.], 2019. v. 8, n. 1, p. 778.

KHAN ACADEMY. **Inclined planes review**. 2012. Disponível em: <https://www.khanacademy.org/science/high-school-physics/two-dimensional-motion-2/inclined-planes/a/inclined-planes-ap1>. Acesso em: 19 jan. 2021.

KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações. In: **Livro do IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Petrópolis (RJ), Porto Alegre: SBC**. [S.l.: s.n.], 2007. p. 300.

LAITENBERGER, O.; DREYER, H. M. Evaluating the usefulness and the ease of use of a web-based inspection data collection tool. In: **Proceedings Fifth International Software Metrics Symposium. Metrics (Cat. No.98TB100262)**. [S.l.: s.n.], 1998. p. 122–132.

MACEDO, S. da H.; FERNANDES, F. A.; LEITE, E. dos S.; LIMA, J. V. D.; BIAZUS, M. C. V. Uso de realidade aumentada como apoio ao ensino do campo girante de um motor de corrente alternada. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 21, n. 03, p. 131, 2013.

MARTINS, V. F.; ABREU, F. R.; MILITINO, R.; FUKUOKA, S.; GUIMARÃES, M. de P. Estratégia de desenvolvimento, implantação e avaliação do uso da realidade virtual na educação: Estudo de caso na área de português. **Revista de Informática Aplicada**, v. 10, n. 1, 2014.

NUNES, S.; MUHLBEIER, A. R. K.; COSTA, C. Uma beyblade em realidade aumentada: suas potencialidades pedagógicas no ensino de geometria espacial. In: **Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)**. [S.l.: s.n.], 2015. v. 26, n. 1, p. 559.

OWEN, T. C. Solar system. <https://www.britannica.com/science/solar-system>, Encyclopædia Britannica, inc., 2020.

PALHANO, M.; OLIVEIRA, F. de; GROSSI, L. A realidade aumentada no ensino de sólidos geométricos. In: **Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)**. [S.l.: s.n.], 2019. v. 30, n. 1, p. 1012.

PEREIRA, L.; OLIVEIRA, D.; COUTO, I.; OLIVEIRA, A.; SILVA, R. L. d. S. da. Uma ferramenta de apoio ao ensino de cálculo com realidade aumentada. In: **Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)**. [S.l.: s.n.], 2017. v. 28, n. 1, p. 595.

PULIJALA, Y.; MA, M.; PEARS, M.; PEEBLES, D.; AYOUB, A. Effectiveness of immersive virtual reality in surgical training—a randomized control trial. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, Elsevier, v. 76, n. 5, p. 1065–1072, 2018.

QUEIROZ, A. C. M.; TORI, R.; NASCIMENTO, A. M.; LEME, M. I. d. S. Augmented and virtual reality in education: The role of brazilian research groups. In: **IEEE. 2018 20th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)**. [S.l.], 2018. p. 170–175.

SUMARDANI, D.; PUTRI, A.; SARASWATI, R. R.; MULIYATI, D.; BAKRI, F. Virtual reality media: The simulation of relativity theory on smartphone. **Formatif: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA**, v. 10, n. 1, 2020.

WEISSTEIN, E. W. Platonic solid. <https://mathworld.wolfram.com/>, Wolfram Research, Inc., 2003.

A Apêndices

A.1 Formulário de avaliação

Formulário de avaliação da Plataforma VRTools

Este formulário tem o intuito de prover uma avaliação individual sobre a plataforma VRTools.

***Obrigatório**

Caracterização

Sexo *

☐ Masculino

☐ Feminino

Idade *

Sua resposta

Escolaridade *

☐ Ensino Fundamental

☐ Ensino Médio

☐ Superior incompleto

☐ Superior completo

☐ Pós-graduação

Sobre a plataforma VRTools

Meu interesse sobre o conteúdo cresceu com o uso do VRTools. *

☐ Concordo totalmente

☐ Concordo

☐ Indiferente

☐ Discordo

☐ Discordo totalmente

Utilizar o VRTools me deixou mais motivado do que participar de uma atividade tradicional em sala de aula. *

☐ Concordo totalmente

☐ Concordo

☐ Indiferente

☐ Discordo

☐ Discordo totalmente

Utilizar o VRTools me deixou mais propenso a explorar o conteúdo abordado. *

☐ Concordo totalmente

☐ Concordo

☐ Indiferente

☐ Discordo

☐ Discordo totalmente

Visualizar os conteúdos tridimensionalmente através do VRTools facilitou minha compreensão dos temas abordados em comparação à visualização das imagens bidimensionais apresentadas. *

☐ Concordo totalmente

☐ Concordo

☐ Indiferente

☐ Discordo

☐ Discordo totalmente

Eu entendi facilmente como utilizar a plataforma seguindo as instruções passadas. *

☐ Concordo totalmente

☐ Concordo

☐ Indiferente

☐ Discordo

☐ Discordo totalmente

Não ter que instalar aplicativos contribuiu para o uso da plataforma. *

☐ Concordo totalmente

☐ Concordo

☐ Indiferente

☐ Discordo

☐ Discordo totalmente

Você tem alguma sugestão de melhoria para o VRTools?

Sua resposta

Enviar

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Política de Privacidade](#)

Google Formulários

A.2 Manual de instrução na avaliação

Experimento VRTools - Guia do Participante

Obrigado por participar do experimento de avaliação da plataforma VRTools.

A realização do experimento possui duração estimada de 10 a 20 minutos e consiste na utilização de um material didático tradicional com visualização (bidimensional) do conteúdo em comparação à visualização utilizando a plataforma VRTools.

Ao final, você preencherá anonimamente um questionário para sabermos suas impressões sobre a plataforma.

Serão abordados dois conteúdos:

- Sólidos Platônicos
- Sistema Solar

As instruções do experimento serão descritas nas páginas a seguir.

Novamente, agradecemos muito sua participação! :)

Experimento 1: Sólidos Platônicos

Como será o experimento?

- Leia as informações básicas sobre os Sólidos Platônicos na página 3;
- Visualize as ilustrações dos sólidos platônicos (de forma tradicional) na página 4;
- Siga as instruções das páginas 5 e 6 para visualizar o conteúdo abordado utilizando a plataforma VRTools.

Sólidos Platônicos

Antes de se entender o que são Sólidos Platônicos, precisamos saber o que são polígonos regulares e o que são poliedros.

Um polígono é uma linha fechada formada por segmentos de retas que não se cruzam e pertencem ao mesmo plano. Um polígono é regular quando:

- É convexo (dados os pontos A e B quaisquer em seu interior, todos os pontos do segmento AB também estão no interior do polígono);
- Todos os seus lados possuem a mesma medida;
- Todos os seus ângulos são congruentes.

A palavra poliedro já foi usada de diversas maneiras e até definida de modos contraditórios entre si ao longo da história, porém em nosso caso podemos utilizar a seguinte definição:

Um poliedro é uma reunião de um número finito de polígonos planos, onde cada lado de um destes polígonos é também o lado de um, e apenas um, outro polígono. Cada um desses polígonos chama-se uma face do poliedro, cada lado comum a duas faces chama-se uma aresta do poliedro e cada vértice de uma face é também chamado vértice do poliedro. Todo poliedro limita uma região do espaço chamada de interior deste poliedro. Dizemos que um poliedro é convexo se o seu interior C é convexo, isto é, quando qualquer segmento de reta que liga dois pontos de C está inteiramente contido em C . Em um poliedro convexo toda reta não paralela a nenhuma de suas faces o corta em, no máximo, dois pontos.

Um sólido platônico, também chamado de poliedro regular, é um poliedro convexo que possui essas duas propriedades:

- Suas faces são polígonos regulares e congruentes entre si;
- O número de faces concorrentes em cada vértice é sempre o mesmo.

Há apenas cinco sólidos platônicos e os seus nomes vêm da quantidade de faces que possuem, sendo eles o tetraedro (4), o cubo ou hexaedro (6), octaedro (8), dodecaedro (12) e o icosaedro (20).

Sólidos Platônicos - Visualização tradicional

Observe na imagem abaixo os Sólidos Platônicos discutidos.

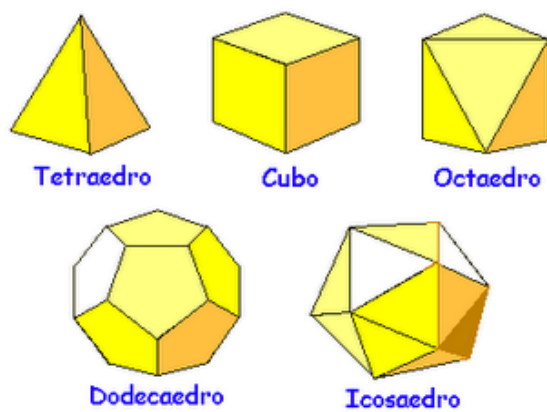

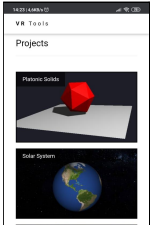
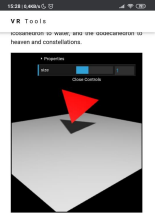
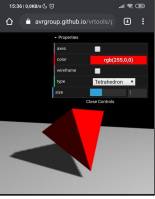


Figura 1: Imagem representativa dos Sólidos Platônicos¹

¹http://www.educ.fc.ul.pt/icm/icm99/icm43/sol_plat.htm

Sólidos Platônicos - Visualização na VRTools

Itens necessários	
	<p>1) Você deve possuir um smartphone e/ou computador com câmera;</p> <p>2) Baixe o marcador de realidade aumentada HIRO. https://avrgroup.github.io/vrtools/projects/data/markers/hiro.pdf</p> <p>Imprima este marcador ou abra-o, quando solicitado, em seu computador (neste caso será necessário usar o smartphone para visualizá-lo).</p>
Visualização no Browser	
 <p>Imagem 1</p>  <p>Imagem 2</p>  <p>Imagem 3</p>	<p>Instruções</p> <p>1) Acesse o link abaixo através do seu computador ou smartphone https://avrgroup.github.io/vrtools/</p> <p>2) Acesse a seção “Projects” e entre na aplicação de “Platonic Solids”, conforme a imagem 1;</p> <p>3) Esta página descreverá os sólidos platônicos e abaixo apresentará a simulação em computação gráfica da aplicação conforme ilustrado na imagem 2;</p> <p>4) Clique na opção “Fullscreen” para abrir a aplicação em tela cheia como na imagem 3;</p> <p>5) Teste as opções disponíveis na aplicação;</p>

Visualização em AR	
 <p>Imagem 4</p>  <p>Imagem 5</p>	<p style="text-align: center;">Instruções</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Acesse o link abaixo através do seu computador ou smartphone: https://avrgroup.github.io/vrtools/ 2) Acesse a seção “Projects” e entre na aplicação de “Platonic Solids”; 3) Clique no botão “Augmented Reality” como na imagem 4; <ol style="list-style-type: none"> a) A aplicação em realidade aumentada será aberta em uma nova aba no navegador e em tela cheia; b) Caso entre a primeira vez, será solicitada a utilização da câmera do smartphone, autorize sua utilização; 4) Aponte a câmera do smartphone para o marcador HIRO (seja o marcador impresso ou o marcador aberto no computador). O marcador deve estar totalmente visível para que a visualização seja realizada corretamente. 5) Foque a câmera no marcador e em seguida o conteúdo será apresentado sobre este marcador (imagem 5); 6) Teste as opções disponíveis na aplicação;

Experimento 2: Sistema Solar

Como será o experimento?

- Leia as informações básicas sobre sistema solar na página 8;
- Visualize a ilustração sobre o conteúdo (de forma tradicional) na página 9;
- Siga as instruções das páginas 10 e 11 para visualizar o conteúdo abordado utilizando a plataforma VRTools.

Sistema Solar

O Sistema Solar é o conjunto de corpos celestes – planetas, asteroides, cometas, etc – que orbitam o Sol. A estrela contém 99,9% de toda a massa do sistema, o que gera a força gravitacional que mantém os outros corpos girando ao seu redor. Entre esses corpos os mais importantes são os oito planetas: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno.

O surgimento do Sol e do sistema solar se deu há cerca de 4,5 bilhões de anos: uma nuvem de gás e poeira que girava em torno de si mesma foi, ao longo do tempo, se achatando em forma de disco devido a ação de sua rotação e peso. No centro do disco se formou o Sol, nas regiões mais próximas da estrela e mais quentes se formaram os planetas rochosos, enquanto nas regiões mais afastadas se formaram os planetas gasosos.

Nosso planeta se localiza a 150 milhões de quilômetros do Sol aproximadamente. Essa distância varia dependendo de onde a Terra se localiza em sua órbita que, assim como a dos outros planetas, é elíptica. Essa variação de distância, no entanto, não se relaciona com as diferentes estações do ano, como é comum de se imaginar. As estações estão relacionadas com a inclinação do eixo de rotação do planeta, o que faz que ora o hemisfério norte receber mais luz solar, ora o hemisfério sul.

O Sol é composto principalmente de hidrogênio e hélio, e possui tamanho e luminosidade média em comparação com outras estrelas observadas no universo. Essas características proporcionam a existência de água líquida na superfície da Terra na distância em que ela se encontra, uma das condições essenciais para o surgimento de vida como a conhecemos. No centro de nossa estrela, as temperaturas chegam a cerca de 15 milhões de graus centígrados, já na superfície as temperaturas ficam por volta de 6000 graus Celsius.

Sistema Solar - Visualização tradicional


Observe na imagem abaixo o Sistema Solar e seus planetas.



Figura 2: Imagem representativa do Sistema Solar²

²<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Planets2013.svg>

Sistema Solar - Visualização na VRTools

Itens necessários	
	<p>1) Você deve possuir um smartphone e/ou computador com câmera;</p> <p>2) Baixe o marcador de realidade aumentada HIRO. https://avrgroup.github.io/vrtools/projects/data/markers/hiro.pdf</p>
	<p>Imprima este marcador ou abra-o, quando solicitado, em seu computador (neste caso será necessário usar o smartphone para visualizá-lo).</p>

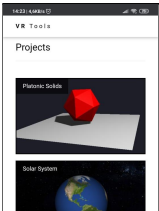
Visualização no Browser	
 <p>Imagem 1</p>	<p>Instruções</p> <p>1) Acesse no smartphone a página do projeto através do link a seguir: https://avrgroup.github.io/vrtools/</p> <p>2) Acesse a seção “Projects” e entre na aplicação “Solar System”, conforme a imagem 1;</p>
	<p>3) Esta página descreverá o nosso sistema solar e abaixo apresentará a simulação em computação gráfica da aplicação conforme mostrado na imagem 2;</p> <p>4) Clique na opção “Fullscreen - Medium Quality” ou “Fullscreen - High Quality*”; para abrir a aplicação em tela cheia como na imagem 3;</p> <p>5) Teste as opções disponíveis na aplicação;</p> <p><i>*A utilização em High Quality é com imagens em 8K, portanto o carregamento pode ser demorado.</i></p>



Imagem 2

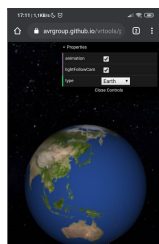


Imagem 3

Visualização em AR	
	<p style="text-align: center;">Instruções</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Acesse o link abaixo através do seu computador ou smartphone: https://avrgroup.github.io/vrtools/ 2) Acesse a seção “Projects” e entre na aplicação de “Solar System”; 3) Clique no botão “Augmented Reality” como a imagem 4; <ol style="list-style-type: none"> a) A aplicação em realidade aumentada será aberta em uma nova aba no navegador e em tela cheia; b) Caso entre pela primeira vez, será solicitada a utilização da câmera do smartphone. Autorize sua utilização; 4) Aponte a câmera do smartphone para o marcador HIRO (seja o marcador impresso ou aberto no computador). O marcador deve estar totalmente visível para que a visualização seja realizada corretamente. 5) Foque a câmera no marcador e em seguida o conteúdo será apresentado sobre este marcador (imagem 5); 6) Teste as opções disponíveis na aplicação;
<p style="text-align: center;">Imagem 4</p> 	<p style="text-align: center;">Imagem 5</p>