

AMBIENTE WEB DE REALIDADE AUMENTADA E REALIDADE VIRTUAL PARA VISUALIZAÇÃO DOS PLANETAS DO SISTEMA SOLAR

SIQUEIRA, Paulo Henrique¹

Resumo

Este artigo mostra o desenvolvimento de um ambiente web para visualizações dos planetas do Sistema Solar em Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV). Com objetivo de mostrar o Sistema Solar de maneira mais próxima da realidade, as medidas usadas neste trabalho envolvem distâncias entre os planetas e o Sol, limites de distâncias mínimo (periélio) e máximo (afélio), rotações, além de inclinações e excentricidades das órbitas elípticas. Para melhorar a visualização das órbitas, as métricas de distâncias, diâmetros e rotações foram adaptadas com o conceito de equivalência de áreas de círculos e médias geométricas, suavizando as diferenças de grandezas. O ambiente desenvolvido pode ser usado em sala de aula para a visualização do Sistema Solar em RA, com a possibilidade de manipulações das representações dos planetas pelos alunos com o ambiente criado em RV, além de estudos das leis de Kepler, propriedades de inclinações e rotações dos planetas. Este trabalho serve como uma maneira de encorajar os professores para desenvolverem materiais com a tecnologia mostrada com o objetivo de propagar e popularizar o uso de RA e RV em ambiente web nas salas de aula.

Palavras-chave: Realidade Aumentada; Realidade Virtual; Visualização gráfica.

Abstract

This paper shows the development of a webpage environment created to visualizations of the Solar System planets with Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR). With the objective to show the Solar System closer to reality, the measurements used in this paper involve distances between the planets and the Sun, limits of minimum (perihelion) and maximum distances (aphelion), rotations, inclinations and eccentricities of the elliptical orbits. To improve the orbits visualization, distances, diameters and rotations metrics were adapted with proportional circles areas and geometrical mean, smoothing the differences of magnitudes. The developed environment can be used in the classroom to visualize the Solar System in AR, with the possibility of manipulations of the planets representations by the students with the environment created in VR, besides studies of the laws of Kepler, properties of inclinations and rotations of the planets. This work serves as a way to encourage teachers to develop materials with the technology shown in order to propagate and popularize the use of AR and VR in classroom programmed as in a web environment.

Keywords: Augmented Reality; Virtual Reality; Graphical Visualization.

¹ Universidade Federal do Paraná, paulohs@ufpr.br

1 Introdução

Disciplinas que envolvem conceitos tridimensionais quase sempre necessitam de recursos auxiliares para a completa compreensão dos alunos e o desenvolvimento ideal de suas habilidades espaciais. A manipulação dos objetos pelos alunos é importante para ajudar a compreensão destes conceitos. Os materiais concretos podem ser feitos hoje em dia com impressões 3D para aulas de Biologia (McMENAMIN et al., 2014), Geometria (HULEIHIL, 2017) ou disciplinas com conteúdos que envolvam representações 3D. O desenvolvimento de ambientes ou aplicativos web para o ensino também ajuda em visualizações e manipulações de conceitos de Geometria (CANTOS, IZQUIERDO e CANTOS, 2016).

Outra alternativa para auxiliar o ensino de conteúdos que envolvem conceitos de 3D é o uso de modelagem com tecnologias virtuais. A Realidade Virtual (RV) serve para criar um ambiente imersivo com manipulação dos objetos através de controles e óculos imersivos (MORO et al., 2017). Ambientes em RV auxiliam a visualização de fenômenos físicos ou biológicos, simulações de treinamentos, jogos educacionais e outras áreas da educação.

A Realidade Aumentada (RA) utiliza um dispositivo com câmera para colocá-lo junto com o ambiente da imagem da câmera, criando camadas virtuais de objetos 3D e texto sobre a imagem da câmera em tempo real (KIRNER e KIRNER, 2011). Trabalhos recentes mostram aplicações de RA muito interessantes para auxílio no ensino de várias áreas, tais como Geometria (GONZÁLEZ, 2017) e Arquitetura (ABDULLAH et al., 2017). As contribuições do uso de RA na área da educação demonstram que se trata de uma poderosa ferramenta para uso em sala de aula, pois permite várias formas de interações visuais no aprendizado de diversas disciplinas (AKÇAYIR e AKÇAYIR, 2017).

Os conceitos básicos de Astronomia não são fáceis de ensinar, pois são conteúdos distantes da realidade cotidiana dos alunos. A representação do Sistema Solar envolve conceitos de Geometria, tais como distâncias, diâmetros, rotações e excentricidades das órbitas. Os recursos de RA podem contribuir na visualização de cada planeta (XIAO et al., 2018), ou com relações da órbita da Terra com o Sol (SHELTON e HEDLEY, 2002).

O uso da RA pode complementar a utilização dos materiais didáticos tradicionais no ensino dos conceitos da Astronomia, pois os alunos podem interagir e visualizar os planetas e suas propriedades de maneira mais efetiva e significativa. A RV pode auxiliar na interação dos alunos com as representações dos planetas, transformando o ensino dos conteúdos de Astronomia em aulas de campo virtuais (DEVECIOGLU-KAYMAKCI, 2016).

Neste trabalho são apresentados os elementos para a construção de um ambiente web que utiliza as tecnologias de RV e RA para representar o Sistema Solar. A ideia principal é usar uma página em HTML para RA, com links para as páginas desenvolvidas em RV. Na página em RA, os alunos visualizam o Sistema Solar através de diversos pontos de vista e acessam os sites de RV para manipularem as representações dos planetas e órbitas com dispositivos móveis, computadores ou podem até imergirem na cena com óculos de RV.

Os comandos usados na construção do ambiente proposto em RA e RV são intuitivos, e exigem apenas conhecimentos básicos de HTML. Trata-se de uma excelente e simples ferramenta de programação, que possibilita aplicações em sala de aula sem dificuldades apontadas no uso de algumas tecnologias de RA (MUNOZ-CRISTÓBAL et al., 2018).

2 Dados da Modelagem

Os dados para construção do modelo de Sistema Solar nos ambientes de RV e RA foram obtidos da *National Aeronautics and Space Administration - NASA* e envolvem distâncias, diâmetros e períodos de rotação em torno do sol e dos próprios planetas.

2.1 Distâncias e diâmetros

As informações de distâncias utilizadas de cada planeta são: diâmetro (d), distância do sol (r) e os limites de distâncias ao sol periélio e afélio. A modelagem das distâncias dos planetas ao Sol pode ser feita utilizando-se um planeta como referência e calculando-se as demais distâncias relativas através de regras de três simples. Considerando-se a distância de Plutão ao Sol como um referencial $p_{dist} = 100\%$ e $R = 26m$ os valores proporcionais das distâncias dos demais planetas ao Sol r_p são mostrados na Tabela 1.

Porém, conforme mostra a Tabela 1, as menores distâncias têm valores muito próximos e menores do que 1m, dificultando-se a visualização entre estas órbitas. Para melhorar as visualizações das órbitas sem perder as proporções das distâncias, o conceito de área dos círculos centrados no Sol pode ser utilizado, considerando os círculos como aproximações das órbitas dos planetas. Desta forma, o raio do círculo de uma órbita r_o é considerado com área de proporção p_{dist} em relação à área do círculo da órbita de Plutão:

$$\pi r_o^2 = p_{dist} \pi R^2 \quad \therefore r_o = \sqrt{p_{dist} R^2} = R \sqrt{p_{dist}} \tag{1}$$

ou seja, r_o é a média geométrica entre $p_{dist} R$ e R . Os valores dos raios r_o calculados através da equação (1) são mostrados na Tabela 1.

A Figura 1 mostra a vista superior da representação das órbitas até Plutão utilizando-se os raios proporcionais r_p e os raios com áreas proporcionais r_o . A visualização das órbitas com os raios r_o fica mais clara e compreensível para aplicar em sala de aula, sem perder a proporcionalidade, que foi usada nas áreas dos círculos.

Os diâmetros dos planetas também podem ser calculados através da equação (1), usando-se como referência o diâmetro do Sol. A Tabela 1 mostra os percentuais p_d dos diâmetros dos planetas em relação ao diâmetro do Sol, os diâmetros proporcionais d_p e os diâmetros propostos d_{prop} através da equação (1), considerando-se o diâmetro do Sol com medida $D = 4m$ utilizado no ambiente virtual.

Tabela 1 – Diâmetros e distâncias ao Sol

astro	r (10^6 km)	p_{dist} (%)	r_p (m)	r_o (m)	d (km)	p_d (%)	d_p (m)	d_{prop} (m)
Sol	-	-	-	-	1.391.016	100	$D = 4$	4
Mercúrio	57,9	1	0,25	2,57	4.879	0,35	0,014	0,237
Venus	108,2	1,8	0,48	3,52	12.104	0,87	0,035	0,373
Terra	149,6	2,5	0,66	4,14	12.756	0,92	0,037	0,383
Marte	227,9	3,9	1	5,11	6.792	0,49	0,02	0,28
Jupiter	778,6	13,2	3,43	9,44	142.984	10,3	0,411	1,284
Saturno	1.433,5	24,3	6,31	12,81	120.536	8,67	0,347	1,177
Urano	2.872,5	48,6	12,64	18,13	51.118	3,67	0,147	0,767
Netuno	4.495,1	76,1	19,79	22,68	49.528	3,56	0,142	0,755

Ceres	413	7	1,82	6,88	952	0,07	0,003	0,105
Plutão	5.906,4	100	$R = 26$	26	2.370	0,17	0,007	0,165
Haumea	6.452	109	28,4	27,17	1.240	0,09	0,004	0,119
Makemake	6.847	116	30,14	27,99	1.430	0,1	0,004	0,128
Eris	10.125	171	44,57	34,04	2.326	0,17	0,007	0,164

De acordo com a primeira Lei de Kepler, as órbitas dos planetas são elípticas e o Sol ocupa a posição de um dos focos da cada órbita (MURRAY e DERMOTT, 1999). A posição correta da elipse de cada órbita é possível considerando-se as medidas que representam a maior (afélio) e a menor (periélio) distância da órbita de um planeta ao Sol.

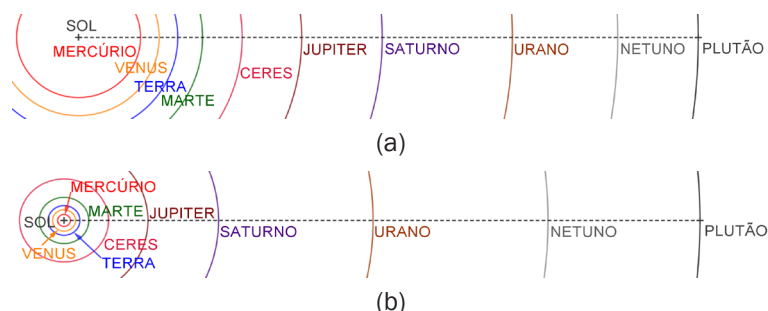


Figura 1. Distâncias entre as órbitas com: (a) médias geométricas; (b) proporção direta dos raios. Fonte: o autor.

O deslocamento Δ de cada planeta em relação ao Sol, é a diferença entre a distância de cada órbita r_0 com os respectivos perihelions. Portanto, cada órbita sofre um deslocamento Δ , que é uma translação da órbita elíptica a partir do centro do Sol na direção do afélio de cada planeta. O periélio de Mercúrio mede $46 \times 10^6 \text{ km}$ (NASA, 2019), o equivalente em RV/RA a $ph = 2,83m$ com uso da média geométrica. O deslocamento deste planeta mede $11,9 \times 10^6 \text{ km}$, que pode ser representado no ambiente virtual com valor $\Delta = 0,28m$.

2.2 Períodos orbital e de rotação

O período orbital t_0 é a quantidade de dias que um planeta leva para fazer uma rotação completa de 360° em torno do Sol. O período de rotação t_r representa o número de dias que um planeta leva para completar uma rotação de 360° em torno de seu próprio eixo (MURRAY e DERMOTT, 1999; NASA, 2019).

O período orbital de Mercúrio representa apenas 0,1% do período orbital de Plutão, ou seja, enquanto Mercúrio dá 1000 voltas em torno do Sol, Plutão consegue completar apenas 1 volta. Estas grandes diferenças acontecem também com os períodos de rotação. Por exemplo, Júpiter leva pouco mais de 9 horas para completar uma rotação em torno de seu eixo, enquanto Venus tem o período de rotação de 243,02 dias (NASA, 2019).

Para suavizar grandes diferenças que existem entre os períodos orbitais e de rotação dos planetas e do Sol, a mesma metodologia com médias geométricas pode ser utilizada para estas medidas, evitando-se problemas de visualizações causados por rotações muito lentas ou rápidas.

Usando-se o período orbital de Plutão de 90.500 dias como referência, com duração em RV/RA de 5.000s, os períodos orbitais de Marte e Mercúrio, que medem 687 e 88 dias respectivamente, transformam-se em 435,4s e 155,88s na programação virtual com médias

geométricas. Utilizando-se a mesma referência, os períodos de rotação do Sol, de Vênus e de Mercúrio, que medem 35, 243,02 e 58,65 dias, respectivamente, transformam-se em 98,3s, 259,01s e 127,24s para uso em RV/RA.

2.3 Ângulos, inclinações e excentricidade das órbitas

A representação da órbita de um planeta pode ser feita através de uma linha imaginária que passa pelo centro do planeta e descreve uma elipse em torno do Sol. Esta elipse tem centro posicionado com deslocamento Δ a partir do centro do Sol, com uma inclinação i em relação a um plano de referência. A interseção deste plano com o plano da elipse é chamada de linha dos nós, e o eixo d com origem no centro do Sol é utilizado como referência para todos os planetas (MURRAY e DERMOTT, 1999).

A posição do perihelion de um planeta é possível com a determinação de dois ângulos: a longitude do nó ascendente Ω , formada entre o eixo d e a linha dos nós; e a longitude do perihelion ω , formada entre a linha dos nós e o ponto perihelion. Os ângulos Ω e ω estão ilustrados na Figura 2.

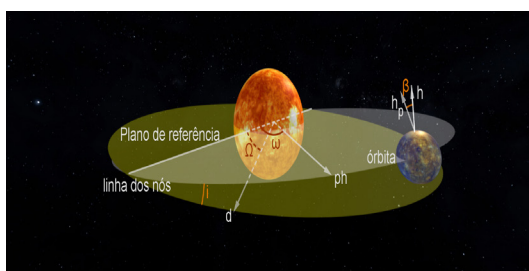


Figura 2. Ângulos usados para posicionar as órbitas dos planetas.
Fonte: o autor.

Considerando-se o eixo h ortogonal ao plano da órbita, cada planeta tem um eixo denominado h_p que passa por seus polos. O ângulo β formado entre os eixos h e h_p é chamado de inclinação ou obliquidade do planeta (MURRAY e DERMOTT, 1999) e está ilustrado na Figura 2. Os valores destes ângulos podem ser consultados em NASA (2019).

Apesar dos valores pequenos de excentricidades, as órbitas dos planetas possuem formato elíptico. O semi-eixo maior da elipse da órbita de um planeta é a distância r_0 do mesmo até o Sol. O cálculo da medida do semi-eixo menor b da órbita de um planeta pode ser feito usando-se a definição de excentricidade de uma elipse com semi-eixo maior r_0 e distância focal $2c$:

$$e = c/r_0, \text{ onde } c^2 = r_0^2 - b^2$$

Substituindo-se o valor de c na primeira igualdade, obtém-se o valor de b :

$$b = r_0 \sqrt{1 - e^2}. \quad (2)$$

Os planetas Vênus, Terra e Netuno ficam com as representações aproximadas por círculos, pois têm excentricidades próximas de zero. No caso da excentricidade de Plutão, que vale $e = 0,248$, o eixo menor em RV/RA mede $b = 25,19m$, equivalente a 96,9% do eixo maior $r_0 = 26m$. No caso de Mercúrio, com $e = 0,206$, seu eixo menor mede $b = 2,519m$ em RV/RA, equivalente a 97,9% do valor r_0 mostrado na seção 2.1.

3 Realidade Virtual

Os elementos do Sistema Solar mostrados na seção 2 foram programados tanto em Realidade Virtual quanto em Realidade Aumentada. Nos dois casos, foram utilizadas as bibliotecas do A-frame, ambiente desenvolvido pela equipe de RV do Mozilla (OLIVEIRA, 2018). O A-frame utiliza funções da biblioteca Three.js do Java com *tags* do HTML puro, permitindo que toda a programação de RV ou RA seja feita em uma página da web, que segue a composição de *tags* com princípios de herança e hierarquia (A-FRAME, 2019).

As *tags* principais da modelagem de uma parte do Sistema Solar em RV são mostradas nesta seção, ilustradas na Figura 3. As informações colocadas nesta figura incluem as *tags* do Sol e de Mercúrio e os demais planetas têm estrutura similar. Na *tag* de cabeçalho da página HTML está inserida a referência à biblioteca principal do A-frame entre as linhas 3 e 5. Todas as referências de bibliotecas podem ser inseridas nesta *tag* de cabeçalho.

A modelagem do Sistema Solar está definida nas *tags* do corpo da página HTML. Nas linhas 7 e 8 da Figura 3 encontram-se as definições para interação do usuário com o mouse ou controle de RV e a câmera da cena com posição inicial nas coordenadas x (direita/esquerda), y (altura) e z (profundidade). Os valores iniciais são: x = 0 que centraliza a câmera na tela; y = 2m que representa a altura do observador; e z = 8m para afastar o observador da origem do sistema, onde está representado o Sol.

As *tags* que definem as texturas usadas nos planetas estão colocadas entre as linhas 9 e 13. As imagens foram retiradas do site gratuito de modelos do Sistema Solar (SOLAR SYSTEM, 2019). A imagem da Via Láctea está referenciada como imagem de fundo de 360° da cena na *tag* *a-sky* da linha 14.

A modelagem do Sol está nas *tags* entre as linhas 15 e 18. A textura do Sol está referenciada como *#sun*, raio de 2m e animação para representar o período de rotação de 98,3s. Como a unidade do A-frame é milissegundos, a duração da animação equivale a $t_r = 98.300\text{ms}$. Nesta *tag* de animação são definidos o ângulo de inclinação do eixo $\beta = 7.25^\circ$ em relação ao eixo x e a rotação completa de 0° a 360° em torno do eixo y.

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html>
3 <head>
4   <script src="https://aframe.io/releases/0.8.2/aframe.min.js"></script>
5 </head>
6 <body>
7   <a-scene cursor="rayOrigin:mouse">
8     <a-entity camera look-controls position="0, 2, 8"></a-entity>
9     <a-assets>
10      
11      
12      
13    </a-assets>
14    <a-sky src="#milkyway"></a-sky>
15    <a-sphere src="#sun" radius="2">
16      <a-animation attribute="rotation" dur="98300" easing="linear" repeat="indefinite"
17        from="7.25, 0, 0" to="7.25, 360, 0"></a-animation>
18    </a-sphere>
19    <a-entity id="i" rotation="7, 48.3, 0" scale="1, 1, 0.979">
20      <a-entity id="i_ph" rotation="0, 77.45, 0">
21        <a-entity id="desl" position="-0.28, 0, 0">
22          <a-sphere src="#mercury" radius="0.12" position="2.57, 0, 0" scale="1, 1, 1.021">
23            <a-animation attribute="rotation" dur="127240" easing="linear" repeat="indefinite"
24              from="0.03, 0, 0" to="0.03, 360, 0"></a-animation>
25          </a-sphere>
26          <a-text id="label" value="MERCURY" position="2.57, 0.3, 0"></a-text>
27          <a-torus id="orb" rotation="-90, 0, 0" radius="2.57" color="cyan"
28            radius-tubular="0.008"></a-torus>
29          <a-animation id="p_orb" attribute="rotation" dur="155880" repeat="indefinite"
30            to="0, 360, 0" easing="linear"></a-animation>
31        </a-entity>
32      </a-entity>
33    </a-entity>
34    <tags dos outros planetas do sistema solar>
35  </a-scene>
36 </body>
37 </html>

```

Figura 3. Tags da página de RV em A-frame para a modelagem do Sistema Solar.
Fonte: o autor.

As tags da órbita de Mercúrio estão colocadas entre as linhas 19 e 33 da Figura 3. A primeira tag com id="i" define a inclinação do plano da órbita com as medidas $i = 7^\circ$ em torno do eixo x e $\Omega = 48,3^\circ$ em torno do eixo y. A excentricidade é usada como fator de escala sobre o semi-eixo menor da elipse, com valor $b_p = 0,979$.

A tag com id="i_ph" (linha 20) define a longitude do perihelion $\omega = 77,45^\circ$ em torno do eixo y. A tag com id="desl" (linha 21) faz a translação do plano da órbita com o valor $\Delta = 0,28$ m. A linha 23 tem a referência da textura #mercury, raio $d_p/2 = 0,12$ m, distância ao Sol $r_o = 2,57$ m, escala inversa da excentricidade $1/b_p = 1,021$ no eixo menor, inclinação do eixo $\beta = 0,03^\circ$ e a animação para o período de rotação $t_r = 127.240$ ms.

A tag a-text com id="label" (linha 26) posiciona o rótulo do planeta. A tag com id="orb" (linha 27) define a órbita como um toro de raio maior r_o e raio tubular 0,008m. A tag com id="p_orb" (linha 29) define a animação do período orbital $t_o = 155.880$ ms. As tags dos outros planetas podem ser colocadas a partir da linha 34 da Figura 3.

Uma forma de interação com os elementos da cena é através da função de órbita (NGO, 2019), que permite a movimentação da câmera em torno dos objetos da cena. Ao usar os óculos de RV, a movimentação da câmera com a função de órbita é automática. Nos computadores, tablets e smartphones, a movimentação da câmera em torno dos objetos pode ser feita através do mouse, teclado ou touch.

A Figura 4 mostra uma região das órbitas modeladas em RV com códigos HTML do A-frame. Esta visualização mostra as inclinações de órbitas e posições relativas dos planetas em relação ao Sol com as métricas propostas na seção anterior. A Figura 5 mostra uma parte do Sistema Solar modelado em RV, destacando-se os planetas mais próximos do Sol e também a grande inclinação $i = 10,6^\circ$ da órbita de Ceres.

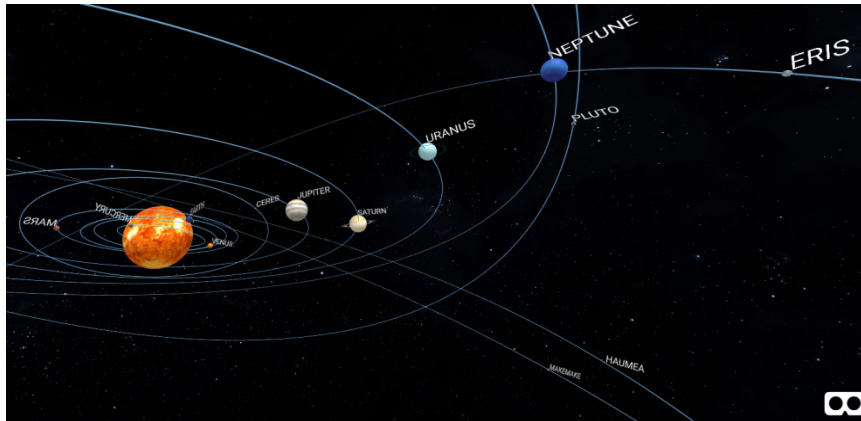


Figura 4. Visão ampliada das órbitas do Sistema Solar modeladas em RV.
Fonte: o autor.

Por se tratar de uma página web, os visitantes têm opções de visualizações em tablets, computadores, smartphones, além dos oculus Rift, oculus Vive, Daydream e gearVR. Os comandos de interações com os planetas podem ser modelados na imersão da cena de RV para manipulações individuais de planetas (MURPHY, 2019) ou teleporte em locais da cena (SERRANO, 2019).

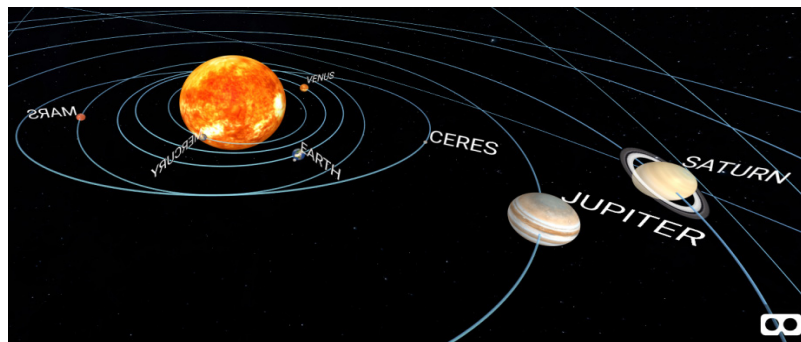


Figura 5. Visualização parcial do Sistema Solar com RV usando-se A-frame.
Fonte: o autor.

4 Realidade Aumentada

Em um ambiente programado em Realidade Aumentada, os elementos modelados em Realidade Virtual podem ser misturados com objetos físicos mostrados através da câmera de um dispositivo. A programação da página web do Sistema Solar em RA usa as mesmas tags estruturais mostradas na Seção 3, incluindo-se a tag referencial da visualização em RA, desenvolvida por Etienne (2019), que deve ser inserida no cabeçalho da página junto com a tag referencial do A-frame.

As tags do Sistema Solar em RA estão colocadas na Figura 6. A tag da cena em RA tem a inclusão de propriedades de incorporação da imagem da webcam e captura de interação

com mouse ou raios de controles em objetos com links (linhas 7 e 8). A cena em RA tem marcadores, que funcionam com códigos de bits 0 e 1 em forma matricial de imagens que são reconhecidas através da webcam (ISHII, 2010). Estes marcadores funcionam como pontos de referência, onde podem ser estabelecidas posições específicas para os objetos virtuais que aparecem na imagem real da webcam.

```

1 <head>
2 <script src="https://aframe.io/releases/0.8.2/aframe.min.js"></script>
3 <script src="https://jeromeetienne.github.io/AR.js/aframe/build/
4   aframe-ar.min.js"></script>
5 </head>
6 <body>
7 <a-scene embedded cursor="rayOrigin:mouse" raycaster="objects:[link];"
8   arjs='sourceType:webcam; detectionMode:mono_and_matrix; matrixCodeType:3x3;'>
9 <a-marker preset="hiro">
10 <a-link href="solarsystem.html" title="VR"></a-link>
11 <a-entity position="0 0.5 0" scale="0.2 0.2 0.2">
12 <tags dos planetas do sistema solar>
13 </a-entity>
14 </a-marker>

```

Figura 6. Tags da página de RA em A-frame para a modelagem do Sistema Solar.
Fonte: o autor.

Quando a imagem de um marcador for reconhecida na cena de RA, os elementos modelados em RV são ativados. Existem mais de 80 opções de marcadores programados na biblioteca desenvolvida por Etienne (2019), que são representados por tags que englobam os elementos programados em RV que são ativados. Os mais comuns são hiro, kanji e os QR (quick response) codes, ilustrados na Figura 7.



Figura 7. Marcadores usados no A-frame: hiro, kanji e o QR code #20.
Fonte: o autor.

Com os marcadores impressos, os alunos podem acessar de seus dispositivos a página web, visualizam os marcadores programados e os respectivos objetos programados em RV aparecem nas telas dos dispositivos em RA. O marcador hiro foi usado para a visualização em RA dos planetas do Sistema Solar. A estrutura de suas tags está entre as linhas 9 e 14 da Figura 6. Nestas tags, *a-entity* serve para agrupar os elementos do Sistema Solar, posicioná-los sobre o marcador e usar escalas. A tag *link* (linha 10) cria a interação para acesso das páginas programadas em RV através de círculos azuis que aparecem sobre os marcadores. A Figura 8 mostra o Sistema Solar em RA com o marcador hiro.

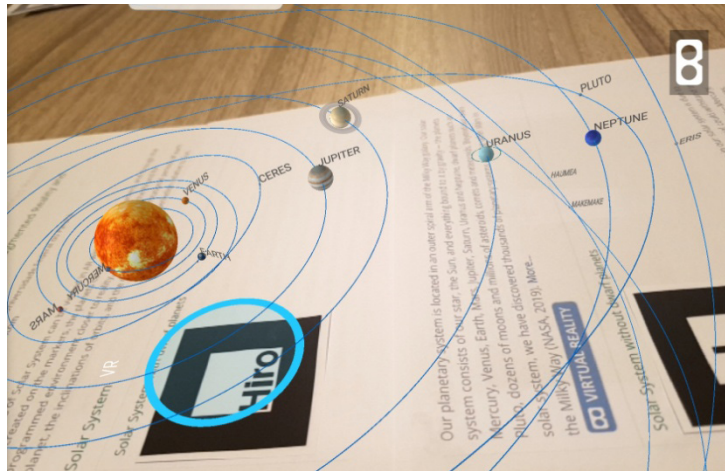


Figura 8. Visualização dos planetas do Sistema Solar em RA com o marcador hiro.
Fonte: o autor.

A visualização dos planetas de forma individual pode ser feita na mesma página com outros QR codes. Com esta visualização, é possível mostrar os pontos afélio e periélio, a linha dos nós, a inclinação do eixo e os períodos dos planetas. O uso do QR code #20 está ilustrado na Figura 9, com os elementos de Marte.

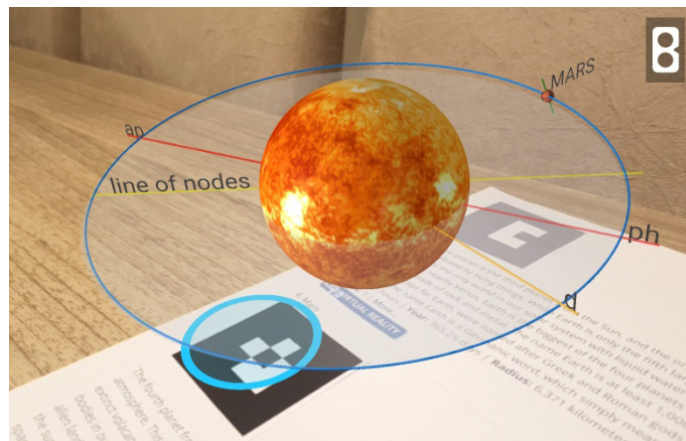


Figura 9. Visualização da órbita de Marte em RA com o QR code #20.
Fonte: o autor.

A página desenvolvida em RA possui todos os links para visualizações dos elementos em RV mostrados neste trabalho e encontra-se disponível em: <https://paulohscwb.github.io/solar-system/>

5 Conclusões

Este trabalho mostra um sistema baseado em web para visualização do Sistema Solar em Realidade Virtual e Realidade Aumentada. Através da visualização de marcadores impressos, os alunos podem visualizar os planetas do Sistema Solar em RA com qualquer dispositivo com webcam e acesso à internet, com links para as visualizações em RV.

As métricas propostas neste trabalho utilizam o conceito de equivalência de áreas de círculos e médias geométricas, com objetivo de melhorar as visualizações das órbitas e dos

planetas com uma suavização de grandezas. O resultado mostra que se trata de uma ferramenta útil para uso em sala de aula, pois permite que os alunos visualizem e manipulem as representações gráficas dos planetas com seus dispositivos ou que usem os óculos de Realidade Virtual para imersão completa na cena.

O ambiente programado pode ser explorado em aulas sobre excentricidade de elipses, ângulos, proporções e as leis de Kepler. Todos os elementos podem ser visualizados em RA e RV e os alunos podem movimentar a câmera da cena para encontrarem os melhores pontos de vista do Sistema Solar em RV com ferramentas desenvolvidas para o A-frame para orbitar a câmera em torno dos objetos.

Algumas vantagens da criação de ambientes de RA e RV como páginas da web para uso em sala de aula são a praticidade, baixo custo, ótimo desempenho, a simplicidade de programação e o funcionamento em todos os tipos de smartphones e tablets. Outra vantagem desta ferramenta é o carregamento quase que imediato do site, pois é construído em HTML com referências de bibliotecas de RV desenvolvidas em Java. Os alunos não precisam fazer download de aplicativos e diversos marcadores podem ser usados em uma mesma página de HTML, que permitem a criação de materiais didáticos com diversos temas programados em RA e RV. Esta ferramenta pode ser usada em outras disciplinas, tais como Geometria, Cálculo Diferencial e Integral, Estatística, Biologia, Química, Engenharia e outras áreas que utilizam representações gráficas em 3D.

Referências

ABDULLAH, F., KASSIM, M. H. B., SANUSI, A. N. Z. **Go virtual: exploring augmented reality application in representation of steel architectural construction for the enhancement of architecture education.** Advanced Science Letters, v. 23, n. 2, p. 804-808, fev. 2017.

A-FRAME. **A-frame documentation of Virtual Reality.** Disponível em: <<https://aframe.io/docs/0.8.0/introduction>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

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, fev. 2017.

CANTOS, L. A., IZQUIERDO, J. L., CANTOS, E. C. **Interactive multimedia application for teaching and learning in Analytical Geometry.** IEEE Latin America Transactions, v. 14, n. 7, p. 3461-3466, out. 2016.

DEVECIOGLU-KAYMAKCI, Y. **Embedding Analogical Reasoning into 5E Learning Model: A Study of the Solar System.** Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education, v. 12, n. 4, p. 881-911, fev. 2016.

ETIENNE, J. **Efficient Augmented Reality for the Web.** Disponível em: <<https://github.com/jeromeetienne/AR.js>>. Acesso em 20 fev. 2019.

GONZÁLEZ, N. A. A. **Development of spatial skills with virtual reality and augmented reality.** International Journal on Interactive Design and Manufacturing, v. 12, n. 1, p. 133-144, mar. 2017.

HULEIHIL, M. **3D printing technology as innovative tool for math and geometry teaching applications.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 164, n. 1, p. 1-7, 2017.

ISHII, H. **Augmented Reality: Fundamentals and Nuclear Related Applications.** International Journal of Nuclear Safety and simulation, v. 1, n. 1, dez. 2010.

KIRNER, C., KIRNER, T. G. **Development of an interactive artifact for cognitive rehabilitation based on augmented reality.** In: International Conference on Virtual Rehabilitation, 2011, Zurich: IEEE, p. 1-7.

McMENAMIN, P. G. et al. **The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology.** Anatomical sciences education, v. 7, n. 6, p. 479-486, jun. 2014.

MORO, C. et al. **The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy.** Anatomical sciences education, v. 10, n. 6, p. 549-559, abr. 2017.

MUNOZ-CRISTÓBAL, J. A. et al. **Game of Blazons: Helping Teachers Conduct Learning Situations That Integrate Web Tools and Multiple Types of Augmented Reality.** IEEE Transactions on learning technologies, v. 11, n. 4, p. 506-519, out. 2018.

MURPHY, W. **All-in-one natural hand controller, pointer, and gaze interaction library for A-Frame.** Disponível em: <<https://github.com/wmurphyrd/aframe-super-hands-component>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

MURRAY, C. D., DERMOTT, S. F. **Solar system dynamics.** Cambridge: Cambridge university press, 1999.

NASA. **Planetary Fact Sheet, Planetary Science.** Disponível em: <<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

NGO, K. **Orbit controls for A-Frame.** Disponível em: <<https://github.com/supermedium/superframe/tree/master/components/orbit-controls>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

OLIVEIRA, J. R. **Visualização de conteúdos multimídia num ambiente de realidade virtual.** 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2018.

SERRANO, F. **A-Frame teleport controls component.** Disponível em: <<https://github.com/fernandojsg/aframe-teleport-controls>>. Acesso em 20 fev. 2019.

SHELTON, B. E., HEDLEY, N. R. **Using augmented reality for teaching earth-sun relationships to undergraduate geography students.** In: The First IEEE International Workshop Augmented Reality Toolkit, 2002, Darmstadt: IEEE, p. 1-8.

SOLAR SYSTEM. **Free online model of Solar System and night sky: Solar textures.** Disponível em: <<https://www.solarsystemscope.com/textures>>. Acesso em 20 fev.2019.

XIAO, J. et al. **Assessing the Effectiveness of Augmented Reality Courseware Eight Planets in the Solar System.** In: International Conference on Information Technology in Medicine and Education, 9., 2018, Hangzhou: IEEE, p. 388-392.