



INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
DIRETORIA ACADÊMICA DE CIÊNCIAS
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Dissertação de Mestrado

UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA GRAVITAÇÃO BASEADA EM SIMULADORES COMPUTACIONAIS

Maria Adna Sena da Silva

Natal
Maio de 2023

MARIA ADNA SENA DA SILVA

UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA
GRAVITAÇÃO BASEADA EM SIMULADORES
COMPUTACIONAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Instituto Federal do Rio Grande do Norte, na Linha de Ensino de Física, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Tibério Magno de Lima
Alves

NATAL
2023

Silva, Maria Adna Sena da.
S586p Uma proposta didática para o ensino da gravitação baseada em simuladores
computacionais / Maria Adna Sena da Silva. – 2023.
131 f. : il. Color.

Dissertação (mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2023e.

Orientador: Tibério Magno de Lima Alves.

1. Física – Estudo e ensino. 2. Eletromagnetismo. 3. Ensino fundamental
– Experimentos. 4. Habilidade cognitiva. I. Título.

CDU 53:37

MARIA ADNA SENA DA SILVA

UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA
GRAVITAÇÃO BASEADA EM SIMULADORES
COMPUTACIONAIS

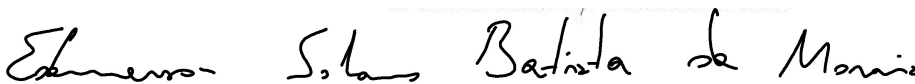
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Instituto Federal do Rio Grande do Norte, na Linha de Ensino de Física, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Trabalho de Conclusão de Curso, Dissertação ou Tese aprovado (a) em 30/06/2023 pela seguinte Banca Examinadora:



Prof. Dr. Tiberio Magno de Lima Alves - IFRN

Presidente/Orientador



Prof. Dr. Edemerson Solano Batista de Moraes - IFRN/CNAT

Examinador interno



Prof. Dr. Bruno Ferreira Amorim - SEEC/RN

Examinador externo

NATAL

2023

Ao meu Deus e a minha família, com
muito amor...

Agradecimentos

Agradeço a Deus, o supremo mestre, por estar sempre presente em minha jornada, guiando-me e fortalecendo-me para superar meus medos. Sua presença é o verdadeiro segredo da minha perseverança.

Expresso minha gratidão à minha família e a todos os meus professores, cujo apoio foi fundamental para minha jornada até aqui.

Agradeço ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), polo 10 UFRN por me dar a oportunidade de me tornar uma profissional cada vez mais capacitada.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo propor a elaboração e aplicação de uma Sequência Didática para o ensino da Gravitação, utilizando o Simulador Computacional como recurso didático para auxiliar no aprendizado e na visualização das leis que regem o movimento planetário. A proposta é embasada na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, a qual valoriza o uso do conhecimento prévio dos alunos como base para novas aprendizagens. A implementação do produto educacional ocorreu em uma turma do 1º ano do Ensino Médio, em uma escola da rede estadual de Santa Cruz/RN, durante o segundo semestre do ano letivo de 2022. Os resultados obtidos com a concepção, aplicação e análise da sequência didática indicam que houve evidências de aprendizagem significativa do conteúdo proposto durante as atividades. Portanto, o produto educacional desenvolvido atendeu às expectativas e demonstra grande potencial para auxiliar professores interessados em adotar uma abordagem diferenciada sobre o tema da Lei da Gravitação Universal de Newton.

Palavras-chave: Gravitação, Sequência Didática, Simuladores, Produto Educacional.

Abstract

This work aims to propose the development and implementation of a Didactic Sequence for teaching Gravitation, using Computational Simulation as a didactic resource to assist in the learning and visualization of the laws governing planetary motion. The proposal is based on Ausubel's Theory of Meaningful Learning, which emphasizes the use of students' prior knowledge as a foundation for new learning. The implementation of the educational product took place in a 1st-year class of High School, at a state school in Santa Cruz/RN, during the second semester of the 2022 academic year. The results obtained from the design, implementation, and analysis of the didactic sequence indicate that there were signs of meaningful learning of the proposed content during the activities. Therefore, the developed educational product met expectations and demonstrates great potential to support teachers interested in adopting a differentiated approach to the topic of Newton's Law of Universal Gravitation.

Palavras-chave: Gravitation, Didactic Sequence, Simulators, Educational Product.

Lista de Figuras

2.1	As partículas m_1 e m_2 estão separadas por uma distância representada na figura pelo vetor posição $\mathbf{r}$	17
2.2	Representação esquemática da atração Sol-planeta.	20
2.3	Área varrida pelo raio vetor.	22
2.4	Representação geométrica da elipse.	31
3.1	Construindo um mapa conceitual hierárquico.	39
3.2	Construindo um mapa conceitual hierárquico.	39
4.1	Tela inicial do NAAP Labs.	41
4.2	Tela inicial do Planetary Orbits.	42
4.3	Interface do Planetary Orbits Simulator.	42
4.4	Menu de configurações das órbitas.	43
4.5	Menu de Controle da Animação.	44
4.6	Menu de Controle da Animação.	45
4.7	Menu da primeira lei de Kepler.	45
4.8	Menu da 2 ^o lei de Kepler.	46
4.9	Menu da 3 ^o lei de Kepler.	46
4.10	Menu da lei da gravitação de Newton.	47
5.1	Simulação da Lei da Gravitação Universal de Newton.	57
5.2	Primeira Lei de Kepler.	62
5.3	Segunda Lei de Kepler.	62
5.4	Simulação da lei das órbitas do sistema solar.	63
5.5	Simulação da lei das áreas do sistema solar.	64
5.6	Simulação da lei dos períodos do sistema solar.	65
6.1	Estudantes respondendo ao questionário de verificação dos conhecimentos prévios.	68
6.2	Alunos respondendo a primeira questão do questionário.	69

6.3	Análise gráfica das respostas da segunda questão do questionário.	70
6.4	Análise gráfica das respostas da terceira questão do questionário.	71
6.5	Análise gráfica das respostas da quarta questão do questionário.	71
6.6	Análise gráfica das respostas da quinta questão do questionário.	72
6.7	Análise gráfica das respostas da sexta questão do questionário.	73
6.8	Análise gráfica das respostas da sétima questão do questionário.	74
6.9	Aplicação do Simulador de Órbitas Planetárias.	75
6.10	Diagrama e explicação do Aluno 01.	78
6.11	Diagrama e explicação do Aluno 02.	78
6.12	Diagrama e explicação do Aluno 03.	79
6.13	Diagrama e explicação do Aluno 04.	80
6.14	Resposta do Aluno 1.	86
6.15	Resposta do Aluno 2.	87
6.16	Resposta do Aluno 3.	87
6.17	Resposta do Aluno 4.	88
6.18	Mapa Conceitual do Aluno 1.	89
6.19	Mapa Conceitual do Aluno 2.	90
6.20	Mapa Conceitual do Aluno 3.	90
6.21	Mapa Conceitual do Aluno 4.	91

Lista de Tabelas

5.1	Quadro descritivo das etapas da Sequência Didática.	49
6.1	Quadro de análise do sistema de pontuação dos mapas conceituais.	88
6.2	Quadro de análise de pontuação do mapa conceitual do Aluno 1.	92
6.3	Quadro de análise de pontuação do mapa conceitual do Aluno 2.	92
6.4	Quadro de análise de pontuação do mapa conceitual do Aluno 3.	92
6.5	Quadro de análise de pontuação do mapa conceitual do Aluno 4.	93

Sumário

Lista de Figuras	8
Lista de Tabelas	10
1 Introdução	13
2 Força Central	15
2.1 O que é força gravitacional?	15
2.2 O problema de dois corpos simplificado a um problema de um corpo	16
2.3 Equações do movimento e o potencial efetivo	19
2.4 A segunda lei de Kepler: lei das áreas	22
2.5 Equação diferencial da órbita	23
2.6 Força central inversamente proporcional ao quadrado da distância	26
2.7 Força central inversamente proporcional ao quadrado da distância	28
2.8 Órbitas Elípticas	30
2.9 O problema de Kepler	32
3 Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel	35
3.1 Sequência Didática	37
3.2 Mapas Conceituais	38
4 Planetary Orbit Simulator	41
4.1 Funcionalidades do Simulador	43
5 Proposta de Sequência Didática	48
5.1 Primeira Etapa: Resgatando os conhecimentos prévios	50
5.2 Segunda Etapa: A gravidade	53
5.2.1 Atividade 01: Velocidade orbital dos planetas ao redor do Sol. . . .	57
5.3 Terceira Etapa: As leis de Kepler	58
5.3.1 Atividade 01: Simulando a Primeira Lei de Kepler: Lei das Órbitas. .	63
5.3.2 Atividade 02: Simulando a Segunda Lei de Kepler: Lei das Áreas. .	64

5.3.3	Atividade 03: Simulando a Terceira Lei de Kepler: Lei dos Períodos.	65
5.4	Quarta Etapa: Aplicação	66
6	Aplicação da Sequência Didática	67
6.1	Primeiro momento da Sequência Didática	67
6.2	Segundo momento da Sequência Didática	74
6.3	Terceiro momento da Sequência Didática	81
6.4	Quarto momento da Sequência Didática	87
7	Considerações Finais	94
8	Referências Bibliográficas	95
A	Apêndices	97
A.1	Produto Educacional	97

1 Introdução

“Não importa quanto a vida possa ser ruim, sempre existe algo que você pode fazer, e triunfar. Enquanto há vida, há esperança. ”

Stephen Hawking

O uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) está cada vez mais presente no dia a dia das pessoas, seja em residências, ambientes profissionais, instituições de ensino, momentos de lazer ou interações sociais. A facilidade e rapidez são notáveis; basta um simples clique para acessar uma vasta quantidade de informações do mundo. No contexto acadêmico, a relevância das TICs cresce consideravelmente, tornando-se vital devido ao amplo e rápido acesso à informação, troca de conhecimentos, ideias e experiências que proporcionam.

O ensino de Física tem sido profundamente influenciado pelas inovações no campo da tecnologia e ciência. Ao longo das últimas três décadas, ocorreram diversas mudanças no cenário educacional, especialmente no ensino de Física, com o frequente uso de simulações computacionais (FIOLHAS; TRINDADE; 2000). É perceptível que o processo de ensino e as metodologias didáticas têm se integrado à crescente tendência da utilização das TICs como auxiliares para uma aprendizagem mais duradoura, flexível e não imediatista. Essa constatação é corroborada pela ampla variedade de canais educativos disponíveis, criados tanto por professores “*youtuberes*” quanto por instituições de ensino, além dos simuladores, animações e jogos computacionais disponíveis na internet.

Com os alunos cada vez mais conectados às novas tecnologias digitais, o grande desafio que permeia o ambiente escolar é conciliar a educação com as novas tecnologias (MOREIRA, 2021). Portanto, é crucial a elaboração de novas propostas metodológicas que incentivem a participação e o uso crítico da internet e de todos os seus recursos no cotidiano escolar. Oliveira e Viet (2016) defendem a motivação dos estudantes para utilizarem os recursos tecnológicos como ferramentas de aprendizagem de Física, e não apenas como meio de entretenimento ou comunicação, como é comum em seu dia a dia (OLIVEIRA; VIET, 2016).

A utilização das tecnologias como ferramentas educacionais é uma realidade que gradativamente vem sendo efetivada entre professores e estudantes, permitindo a substituição de uma aula meramente expositiva por uma aula mais dinâmica e motivadora. Moran (2000) destaca que as TICs na educação promovem processos de comunicação mais participativos, estreitando a relação entre professor e aluno.

Nesse contexto, para que os professores incorporem essas inovações à sala de aula, é necessário aprimorar seus conhecimentos para superar os desafios decorrentes das transformações sociais e tecnológicas, buscando alinhar o processo de ensino e aprendizagem com a realidade dos alunos. Segundo Almeida (2008), é essencial capacitar educadores (professores e gestores) que atuam nas escolas e em outros órgãos educacionais para o uso integrado de diferentes tecnologias. A integração das TICs no meio acadêmico apresenta-se como uma poderosa ferramenta para melhorar a qualidade do ensino, especialmente no que diz respeito à descentralização do papel do professor, que deixa de ser apenas um transmissor e detentor do conhecimento para se tornar um mediador e facilitador do processo de aprendizagem.

Este trabalho tem como objetivo propor e aplicar uma sequência didática para o ensino da Gravitação, utilizando um Simulador Computacional como recurso didático para auxiliar na aprendizagem e visualização das leis que regem o movimento planetário. A proposta é fundamentada na teoria de aprendizagem de Ausubel, que valoriza o uso dos conhecimentos prévios dos estudantes como ponto de partida para a construção de novos conhecimentos.

O simulador utilizado em nosso trabalho foi o *Planetary Orbits Simulator*, cuja estrutura é descrita no capítulo 2. Os fundamentos teóricos, base deste trabalho, são abordados nos capítulos 3 e 4. A proposta da sequência didática, bem como a maneira como o simulador é utilizado, são discutidos no capítulo 5. A aplicação do produto educacional e a análise do raciocínio dos alunos durante as aulas são discutidas no capítulo 6. As considerações finais sobre os objetivos e metas alcançados são apresentadas no capítulo 7.

2 Força Central

Neste capítulo, abordaremos os conceitos teóricos relativos ao movimento sob a influência de uma força central. Em primeiro lugar, será apresentado o movimento de dois corpos que interagem por meio da força gravitacional, a qual constitui uma força central. Em seguida, serão descritas as órbitas resultantes de um potencial específico, considerando diversos valores de energia e os parâmetros associados às órbitas, a partir das condições iniciais. Por fim, serão examinadas as relações entre a Lei da Gravitação Universal e as Leis de Kepler.

O objetivo é desenvolver uma compreensão conceitual dos elementos centrais, promover uma maior familiaridade com a confirmação experimental de nossas leis teóricas e capacitar o leitor a aplicar o arcabouço teórico na descrição e previsão dos movimentos dos planetas.

2.1 O que é força gravitacional?

A força gravitacional é a mais significativa entre todas as forças, considerando que é a única que abrange todo o Universo. Assim como a força eletrostática, a força gravitacional é central, ou seja, atua na direção radial e seu valor depende da distância em relação à fonte e das massas dos objetos envolvidos. Todas as interações de atração ou repulsão entre corpos celestes no mundo real derivam dessas forças, e embora muitas delas sejam geralmente descritas de maneira mais complexa, sua origem pode ser rastreada até as forças fundamentais que variam com a distância.

O problema principal abordado neste capítulo é a interação entre duas partículas por meio de uma força central. Em geral, esse problema pode ser solucionado de maneira bastante simples. Para isso, adotaremos uma solução simplificada, reduzindo o caso de duas partículas para uma situação em que teremos uma única partícula teste movendo-se em apenas uma dimensão. Isso implica que o movimento da partícula teste não influencia a fonte do potencial de forma alguma.

Ao longo deste capítulo, dedicaremos atenção especial aos casos relacionados

à força gravitacional, que sempre se manifesta de forma atrativa. Para compreendermos melhor o funcionamento da força gravitacional, analisaremos o problema do movimento dos planetas no sistema solar (conhecido como o problema de Kepler). Estudaremos as duas abordagens para a resolução do Problema de Kepler propostas por Isaac Newton:

I. Dado o movimento dos planetas, conforme descrito pelas leis de Kepler, determinar a lei da força; II. Dada a lei da força, encontrar a órbita.

No caso do movimento orbital da Terra em torno do Sol, tanto o vetor posição quanto o vetor velocidade da Terra em relação ao Sol sempre estarão contidos no mesmo plano. Como resultado, a direção do momento angular é constantemente perpendicular a esse plano e permanece conservada. No entanto, se o movimento não ocorrer em um plano, a direção do momento angular variará com o tempo. Em resumo, o movimento devido a uma força central é sempre bidimensional ou plano.

2.2 O problema de dois corpos simplificado a um problema de um corpo

Inicialmente, iremos analisar o problema de dois corpos no qual existem duas partículas de massas m_1 e m_2 que interagem por meio de uma força central conservativa, representada por uma função da energia potencial $V(r)$, conforme ilustrado na Figura (1.1).

Considere que as partículas m_1 e m_2 interagem, onde a energia potencial $V(r)$ depende unicamente da distância que as separa. Portanto, é viável reduzir o problema de dois corpos a um problema de um único corpo.

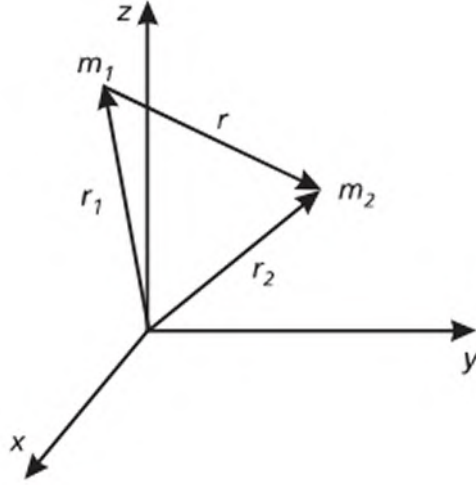
Este sistema apresenta 6 graus de liberdade, 6 variáveis independentes e 6 coordenadas generalizadas.

$$\mathbf{R} = \frac{m_1 \mathbf{r}_1 + m_2 \mathbf{r}_2}{m_1 + m_2}, \quad (2.1)$$

E três componentes do vetor posição

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2, \quad (2.2)$$

Figura 2.1: As partículas m_1 e m_2 estão separadas por uma distância representada na figura pelo vetor posição $\mathbf{r}$.



Fonte: Elaborada pela autora.

As coordenadas $\mathbf{r}_1$ e $\mathbf{r}_2$ (em termos das quais escrevemos a Lagrangiana) são convertidos para as novas expressões:

$$\mathbf{r}_1 = \mathbf{R} + \frac{m_2 \mathbf{r}}{m_1 + m_2}, \mathbf{r}_2 = \mathbf{R} - \frac{m_1 \mathbf{r}}{m_1 + m_2}, \quad (2.3)$$

Logo a energia cinética em termos de $\mathbf{R}$ e $\mathbf{r}$ é

$$T = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\mathbf{R}^2 + T, \quad (2.4)$$

onde T é energia cinética das partículas em um referencial fixo no centro de massa

$$T = \frac{1}{2}m_1\dot{\mathbf{r}}_1^2 + \frac{1}{2}m_2\dot{\mathbf{r}}_2^2 \quad (2.5)$$

A massa reduzida do sistema é definida por

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad (2.6)$$

Este resultado demonstra que a energia cinética do sistema equivale à de outro sistema, que possui duas partículas "fictícias": uma de massa M em movimento com a velocidade do centro de massa, e outra de massa reduzida, movendo-se rapidamente.

O termo "massa reduzida" é utilizado porque μ é sempre menor que m_1 e m_2 . Se uma das massas for significativamente menor que a outra, μ torna-se praticamente igual à massa mais leve (no sistema Terra-Sol, é a Terra).

Além da redução na massa, obtém-se uma redução mais significativa na lagrangiana do sistema. A lagrangiana é definida como a diferença entre a energia cinética (T) e a energia potencial (V). É importante não confundir a lagrangiana (L) com o momento angular (**L**), pois a primeira é uma grandeza escalar, enquanto a segunda é uma grandeza vetorial.

$$L = T + V = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\dot{\mathbf{R}}^2 + \frac{1}{2}\mu\dot{\mathbf{r}}^2 - V(\mathbf{r}), \quad (2.7)$$

Então temos o problema separado em duas partes, cada uma com suas próprias coordenadas, e a análise fica bastante simplificada.

1. Lagrangiana do centro de massa

$$L_{CM} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\dot{\mathbf{R}}^2 \quad (2.8)$$

2. Lagrangiana do movimento relativo

$$L_{Re} = +\frac{1}{2}\mu\dot{\mathbf{r}}^2 - V(\mathbf{r}), \quad (2.9)$$

Especificamente, para uma partícula livre, o centro de massa (CM) segue um movimento uniforme, ou seja, sua velocidade é constante. Assim, o momento total do sistema é conservado (uma vez que não atuam forças externas).

No caso do sistema Terra-Sol, por exemplo, o foco recai sobre a equação relacionada à coordenada relativa $\mathbf{r}$. Podemos optar por um referencial em que o CM está estacionário e situado na origem do corpo de maior massa (o Sol). Essa abordagem é vantajosa, pois nos permite simplificar o problema para o movimento de um único corpo.

2.3 Equações do movimento e o potencial efetivo

Isaac Newton, em 1687, realizou uma descoberta notável ao afirmar que a força responsável por manter os planetas em órbita é a mesma que provoca a queda de uma maçã de uma macieira. A lei da gravidade de Newton estabelece que cada partícula no universo atrai todas as outras partículas com uma força diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas (SYMON, 1982). Essa força gravitacional é expressa pela Equação (2.10):

$$\mathbf{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (2.10)$$

onde m_1 e m_2 são as massas das partículas, r é a distância entre elas e G é a constante gravitacional universal. G tem o mesmo valor se as partículas (ou objetos) estão localizadas em qualquer lugar do universo e é dado por

$$G = 6,672 \times 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2} \quad (2.11)$$

A força gravitacional se manifesta efetivamente quando uma ou ambas as massas envolvidas são muito grandes, devido ao fato de que a constante gravitacional G é muito pequena. É importante observar que a força gravitacional não se trata de uma força de contato, mas sim de uma força de campo, que pode atuar através de qualquer meio. A direção da força gravitacional segue ao longo da linha que une as duas partículas.

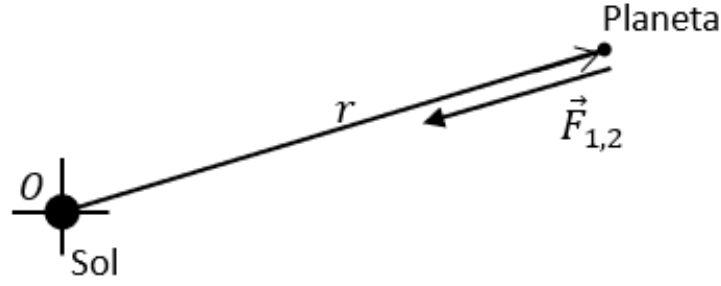
Dessa forma, conforme já mencionado anteriormente, a força gravitacional é considerada uma força central, uma vez que sua intensidade está relacionada com a distância entre as duas partículas, sendo que uma das partículas pode ser considerada como o centro de força.

A Figura (2.2) ilustra a interação da força gravitacional entre o Sol, com uma massa m_1 , e um planeta, com uma massa m_2 .

Quando conhecida a energia potencial V , e pelo fato da força gravitacional ser do tipo conservativa, podemos obtê-la como o negativo do gradiente de V .

$$\mathbf{F} = -\nabla V = -\frac{dV}{dr} \hat{\mathbf{r}} \quad (2.12)$$

Figura 2.2: Representação esquemática da atração Sol-planeta.



Fonte: Elaborada pela autora.

Considerando que não existem forças externas, o torque externo é zero e o momento angular $\mathbf{L}$ é conservado. Temos

$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} \quad (2.13)$$

Tomando a derivada temporal da Eq.2.13:

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \frac{d}{dt}(\mathbf{r} \times \mathbf{p}) \quad (2.14)$$

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \left(\frac{d}{dt}\mathbf{r}\right) \times \mathbf{p} + \mathbf{r} \times \left(\frac{d\mathbf{p}}{dt}\right) \quad (2.15)$$

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \dot{\mathbf{r}} \times m\dot{\mathbf{r}} + \mathbf{r} \times \mathbf{F} = 0 \quad (2.16)$$

O momento angular em torno de qualquer eixo sujeito a uma força central é constante.

$$\mathbf{L} = m\mathbf{r} \times \dot{\mathbf{r}} \quad (2.17)$$

Isso implica que o movimento de uma partícula sob a influência exclusiva de uma força central ocorre em um plano. Para demonstrar isso, considere que a posição $\mathbf{r}_0$ e a velocidade $\dot{\mathbf{r}}_0$ sejam conhecidas num instante t_0 . Ao tomar a direção de $\mathbf{L}$ no eixo z $\mathbf{r}_0$ e $\dot{\mathbf{r}}_0$ permanecem restritos a um plano perpendicular a $\mathbf{L}$. Logo, todo movimento ocorre no plano xy .

Com o movimento no plano xy , o problema se reduz a apenas duas variáveis,

sendo natural usar coordenadas polares. Portanto, podemos expressar a lagrangiana como:

$$L = \frac{1}{2}m(\dot{\mathbf{r}}^2 + r^2\dot{\phi}^2) - V(r) \quad (2.18)$$

onde $\dot{\mathbf{r}}$ é a velocidade tangencial e $\dot{\phi}$ é a velocidade angular. Tomando a derivada da equação (2.18) em relação a $\dot{\mathbf{r}}$ obtemos,

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\mathbf{r}}} = m\dot{\mathbf{r}} \quad (2.19)$$

Fazendo, agora, a derivada temporal da equação (2.19) chegamos a equação (2.20) que a variação temporal do momento linear.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\mathbf{r}}}\right) = m\ddot{\mathbf{r}} \quad (2.20)$$

Derivando a equação (2.18) com respeito a $\mathbf{r}$

$$\frac{\partial L}{\partial r} = mr\dot{\phi}^2 - V'(r) \quad (2.21)$$

Aplicando a função derivada de $V(r)$, representada por $-V'(r)$, à função $V(r)$, e igualando as equações (2.20) e (2.21), obtém-se:

$$m\ddot{\mathbf{r}} = mr\dot{\phi}^2 - F(r) \quad (2.22)$$

$$m\ddot{\mathbf{r}} + mr\dot{\phi}^2 = 0 \quad (2.23)$$

Considerando que L é independente de ϕ , a equação resultante assume uma forma mais simplificada.

$$\frac{dL}{dt} = m\mathbf{r}^2\dot{\phi} = 0 \quad (2.24)$$

Ao integrar esta equação, encontramos a integral do momento angular das equações do movimento.

$$L = m\mathbf{r}^2\dot{\phi} = cte \quad (2.25)$$

Isso representa simplesmente a conservação do momento angular $\mathbf{L}$. Portanto, podemos reformular a equação (2.22) em função dessa grandeza.

$$m\ddot{\mathbf{r}} - \frac{\mathbf{L}^2}{mr^3} = F(r) \quad (2.26)$$

Isolando o termo $m\ddot{\mathbf{r}}$, obtém-se

$$m\ddot{\mathbf{r}} = \frac{\mathbf{L}^2}{mr^3} + F(r) \quad (2.27)$$

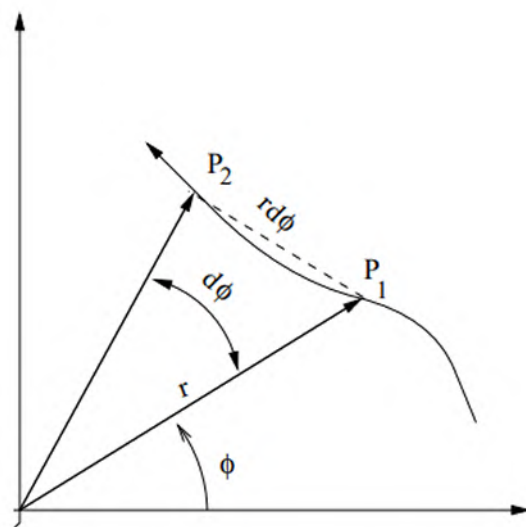
Esta equação apresenta a mesma forma da equação de movimento de uma partícula deslocando-se em uma dimensão, sujeita à influência de duas forças: uma fictícia, representada por L^2/mr^3 , e outra real, representada por $F(r)$.

Uma implicação da conservação do momento angular é que o raio do vetor varre áreas idênticas em intervalos de tempo iguais, o que equivale à segunda lei de Kepler (HALLIDAY *et al.*, 2012). A demonstração dessa lei é apresentada a seguir.

2.4 A segunda lei de Kepler: lei das áreas

Considerando uma partícula movendo-se de uma posição P_1 para uma posição P_2 durante um intervalo de tempo infinitesimalmente pequeno dt , formando um ângulo $d\phi$, conforme ilustrado na Figura (2.4):

Figura 2.3: Área varrida pelo raio vetor.



Fonte: SYMON, 1982.

A área varrida pelo raio vetor da origem até a partícula pode ser aproximada por:

$$dS = \frac{1}{2}r \times r d\phi = \frac{1}{2}r^2 d\phi \quad (2.28)$$

Assim, a taxa com que a área é varrida pelo raio, instantaneamente, é o limite de dS/dt conforme $dt \rightarrow 0$:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{1}{2}r^2 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.29)$$

De acordo com a Equação (2.25) da conservação do momento angular e eliminando $r^2 w$ da Equação (5.29) (HALLIDAY *et al.*, 2012), obtemos a seguinte expressão:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{L}{2m} \quad (2.30)$$

Portanto, esse resultado é válido para uma partícula em movimento sob a ação de qualquer força central. Se o movimento for periódico, integrando ao longo de um período τ do movimento, a área da órbita será:

$$\int dS = \frac{L}{2m} \int_0^\tau dt \quad (2.31)$$

Consequentemente,

$$S = \frac{L\tau}{2m} \quad (2.32)$$

Portanto, se a órbita for conhecida, isto é, se conhecermos r em função de ϕ , podemos utilizar essa fórmula para calcular o período de revolução τ .

2.5 Equação diferencial da órbita

A equação de órbita diferencial relaciona a forma do movimento orbital, em coordenadas polares planas, à dependência radial da força central entre dois corpos. Uma transformação de coordenadas, que depende da forma funcional de $F(r)$, pode simplificar

a equação de órbita diferencial.

Partindo da equação do movimento radial,

$$m\ddot{r} - \frac{L^2}{mr^3} = F(r) \quad (2.33)$$

Esta equação envolve r e $\ddot{r}$ como funções do tempo t . O sistema de coordenadas mais conveniente para descrever o movimento de uma partícula sob a influência de uma força central é o sistema de coordenadas polares. Então, para traçar a órbita como um todo, em vez de determinar as coordenadas do planeta no momento t , seria melhor ter uma equação para r como a função de ϕ . Para isso usaremos a regra da cadeia.

A primeira derivada é

$$\dot{r} = \frac{dr}{dt} = \frac{dr}{d\phi} \frac{d\phi}{dt} = \frac{L}{mr^2} \frac{dr}{d\phi} \quad (2.34)$$

A segunda derivada é dada por:

$$\ddot{r} = \frac{d\dot{r}}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{L}{mr^2} \frac{dr}{d\phi} = \frac{d\phi}{dt} \frac{d}{d\phi} \left(\frac{L}{mr^2} \frac{dr}{d\phi} \right) \quad (2.35)$$

Assim, substituindo a Eq. (2.68) o semieixo menor da órbita, tem-se

$$\dot{r} = \frac{L}{mr^2} \frac{d}{d\phi} \left(\frac{L}{mr^2} \frac{dr}{d\phi} \right), \quad (2.36)$$

logo

$$\frac{d}{d\phi} \left(\frac{L}{mr^2} \frac{dr}{d\phi} \right) = \frac{d}{d\phi} \left(\frac{L}{mr^2} \right) \frac{dr}{d\phi} + \frac{L}{mr^2} \frac{d^2r}{d\phi^2}, \quad (2.37)$$

sendo

$$\frac{d}{d\phi} \left(\frac{L}{mr^2} \right) = \frac{dr}{d\phi} \left(\frac{L}{mr^2} \right) \frac{dr}{d\phi} = -2 \frac{L}{mr^3} \frac{dr}{d\phi}. \quad (2.38)$$

Calculando, agora a segunda derivada,

$$\ddot{r} = \frac{L}{m^2r^4} \frac{d^2r}{d\phi^2} - \frac{2L^2}{m^2r^5} \left(\frac{dr}{d\phi} \right)^2. \quad (2.39)$$

Substituindo $\dot{r}$ e $\ddot{r}$, então a equação do movimento radial (2.33), torna-se

$$F(R) = \frac{L^2}{mr^4} \frac{d^2r}{d\phi^2} - \frac{2L^2}{mr^5} \left(\frac{dr}{d\phi} \right)^2 - \frac{L^2}{mr^3}. \quad (2.40)$$

Multiplicando a Eq. (2.40) por mr^4/L^2 , obtêm-se

$$\frac{d^2r}{d\phi^2} - \frac{2}{r} \left(\frac{dr}{d\phi} \right)^2 = r + \frac{mr^4}{L^2} F(R), \quad (2.41)$$

Fazendo a seguinte mudança de variáveis: $u = \frac{1}{r}$, ficamos

$$\frac{dr}{d\phi} = \frac{du}{d\phi} \frac{dr}{du} = -\frac{1}{u^2} \frac{du}{d\phi} \quad (2.42)$$

e

$$\frac{d^2r}{d\phi^2} = \frac{d}{d\phi} \left(-\frac{1}{u^2} \frac{du}{d\phi} \right) = -\frac{d}{d\phi} \left(\frac{1}{u^2} \right) - \frac{1}{u^2} \frac{d^2u}{d\phi^2}, \quad (2.43)$$

sendo:

$$\frac{d}{d\phi} \left(\frac{1}{u^2} \right) = -\frac{2}{u^3} \frac{du}{d\phi}, \quad (2.44)$$

logo:

$$\frac{d^2r}{d\phi^2} = \frac{2}{u^3} \left(\frac{du}{d\phi} \right)^2 - \frac{1}{u^2} \frac{d^2u}{d\phi^2}. \quad (2.45)$$

Substituindo as equações (2.42) e (2.45) na equação (2.41), vem:

$$\frac{2}{u^3} \left(\frac{du}{d\phi} \right)^2 - \frac{1}{u^2} \frac{d^2u}{d\phi^2} - \frac{2}{r} \left(\frac{du}{d\phi} \right)^2 = r + \frac{m}{L^2} F(R), \quad (2.46)$$

Com isso, obtêm-se uma equação (Equação de Binet) diferencial para a trajetória ou órbita em termos de $u(\phi)$

$$\frac{d^2u}{d\phi^2} = -u - \frac{m}{L^2} F\left(\frac{1}{u}\right). \quad (2.47)$$

Esta equação diferencial da órbita é especialmente útil para determinar os potenciais de força central nos quais órbitas específicas são descritas.

2.6 Força central inversamente proporcional ao quadrado da distância

O movimento de uma partícula em três dimensões, sob a influência de uma força central que varia inversamente com o quadrado da distância até seu centro, constitui um dos problemas mais significativos em mecânica de partículas.

$$\mathbf{F} = \frac{K}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (2.48)$$

A força gravitacional entre dois corpos de massas m_1 e m_2 , separados por uma distância r , é expressa pela Equação (2.8). Assim, a constante K é definida como $K = -Gm_1m_2$.

A energia potencial correspondente é:

$$V(r) = \frac{K}{r}. \quad (2.49)$$

Um problema particularmente fascinante, delineado pela Mecânica Newtoniana, é aquele que aborda o movimento dos planetas sob a influência gravitacional do Sol e o movimento dos satélites que orbitam esses planetas.

Ao substituirmos inicialmente a equação (2.37) na equação (2.38), podemos analisar a natureza da órbita determinada pela força que segue a lei do inverso do quadrado da distância.

$$\frac{d^2u}{d\phi^2} + u = -\frac{mK}{L^2} \quad (2.50)$$

A equação em questão possui a mesma forma que a de um oscilador harmônico simples sujeito a uma força constante. Sua solução pode ser facilmente encontrada ao fazer a equação (2.40) igual a zero.

$$\frac{d^2u}{d\phi^2} + u = 0 \quad (2.51)$$

Logo, a solução homogênea é

$$u = A \cos(\phi - \phi_0) \quad (2.52)$$

em que A e ϕ_0 são constantes. Um solução particular para a equação não homogênea é

$$u = -\frac{mK}{L^2} \quad (2.53)$$

Então, a solução geral da equação (2.40) é

$$u = \frac{1}{r} = -\frac{mK}{L^2} + A \cos(\phi - \phi_0) \quad (2.54)$$

Esta é uma equação cônica (circunferência, elipse, parábola ou hipérbole) com foco em $r = 0$. A constante arbitrária ϕ_0 determina a orientação da órbita no plano, e a constante positiva A determina os pontos de retorno do movimento r , ou seja,

$$\frac{1}{r_1} = -\frac{mK}{L^2} + A \cos(\phi - \phi_0) \quad (2.55)$$

e

$$\frac{1}{r_2} = -\frac{mK}{L^2} + A \cos(\phi - \phi_0) \quad (2.56)$$

$$\frac{1}{r_1} = -\frac{mK}{L^2} + A \quad (2.57)$$

e

$$\frac{1}{r_2} = -\frac{mK}{L^2} - A \quad (2.58)$$

Para $A > -\frac{mK}{L^2}$, existem dois pontos finitos que correspondem a órbitas circulares e elípticas. Por outro lado, quando $A < \frac{mK}{L^2}$, o lado direito da equação (2.44) se torna zero e $r = \infty$. Os pontos de retorno podem ser determinados como soluções da equação.

$$V(r) = \frac{K}{r} + \frac{L^2}{2mr^2} = E \quad (2.59)$$

e, as soluções são

$$\frac{1}{r_1} = -\frac{mK}{L^2} + \left[\left(\frac{mK}{L^2} \right)^2 + \frac{2mE}{L^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.60)$$

e

$$\frac{1}{r_2} = -\frac{mK}{L^2} - \left[\left(\frac{mK}{L^2} \right)^2 + \frac{2mE}{L^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.61)$$

Ao comparar as equações (2.46) e (2.47) com as equações (2.49) e (2.50), observa-se que o valor de A em relação à energia e ao momento angular é

$$A^2 = \frac{m^2 K^2}{L^4} + \frac{2mE}{L^2} \quad (2.62)$$

Dessa forma, podemos concluir que a órbita é determinada com base nas condições iniciais.

2.7 Força central inversamente proporcional ao quadrado da distância

O movimento de uma partícula em três dimensões, sujeita à ação de uma força central inversamente proporcional ao quadrado da distância até seu centro, constitui um dos problemas mais significativos de força central:

$$\mathbf{F} = \frac{K}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (2.63)$$

A força gravitacional entre dois corpos de massas m_1 e m_2 , separados por uma distância r , é expressa pela Equação (2.8). Assim, a constante K é definida como $K = -Gm_1m_2$.

A energia potencial correspondente é:

$$V(r) = \frac{K}{r}. \quad (2.64)$$

Um problema particularmente interessante, descrito pela

Mecânica Newtoniana, é aquele que envolve o movimento dos planetas sob a atração gravitacional do Sol e o movimento dos satélites orbitando os planetas.

Ao substituirmos inicialmente a equação (2.37) na equação (2.38), podemos verificar a natureza da órbita dada pela força que segue a lei do inverso do quadrado da distância:

$$\frac{d^2u}{d\phi^2} + u = -\frac{mK}{L^2} \quad (2.65)$$

Esta equação possui a mesma forma que a de um oscilador harmônico simples submetido a uma força constante, cuja solução pode ser facilmente encontrada ao fazer a equação (2.40) igual a zero.

$$\frac{d^2u}{d\phi^2} + u = 0 \quad (2.66)$$

Logo, a solução homogênea é

$$u = A\cos(\phi - \phi_0) \quad (2.67)$$

em que A e ϕ_0 são constantes. Um solução particular para a equação não homogênea é

$$u = -\frac{mK}{L^2} \quad (2.68)$$

Então, a solução geral da equação (2.40) é

$$u = \frac{1}{r} = -\frac{mK}{L^2} + A\cos(\phi - \phi_0) \quad (2.69)$$

Esta é uma equação cônica (circunferência, elipse, parábola ou hipérbole) com foco em $r = 0$. A constante arbitrária ϕ_0 determina orientação da órbita no plano e a constante positiva A determina os pontos de retorno do movimento r, ou seja,

$$\frac{1}{r_1} = -\frac{mK}{L^2} + A\cos(\phi - \phi_0) \quad (2.70)$$

e

$$\frac{1}{r_2} = -\frac{mK}{L^2} + A \cos(\phi - \phi_0) \quad (2.71)$$

$$\frac{1}{r_1} = -\frac{mK}{L^2} + A \quad (2.72)$$

e

$$\frac{1}{r_2} = -\frac{mK}{L^2} - A \quad (2.73)$$

Para $A > -mK/L^2$ existem dois pontos finitos, que correspondem a órbitas circulares e elípticas. Para $A < mK/L^2$ o lado direito da equação (2.44) torna-se zero e $r = \infty$. Os pontos de retorno são soluções da equação

$$V(r) = \frac{K}{r} + \frac{L^2}{2mr^2} = E \quad (2.74)$$

e, as soluções são

$$\frac{1}{r_1} = -\frac{mK}{L^2} + \left[\left(\frac{mK}{L^2} \right)^2 + \frac{2mE}{L^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.75)$$

e

$$\frac{1}{r_2} = -\frac{mK}{L^2} - \left[\left(\frac{mK}{L^2} \right)^2 + \frac{2mE}{L^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.76)$$

Comparando as equações (2.46) (2.47) e (2.49) (2.50) encontra-se que o valor de A em termos da energia e do momento angular é

$$A^2 = \frac{m^2 K^2}{L^4} + \frac{2mE}{L^2} \quad (2.77)$$

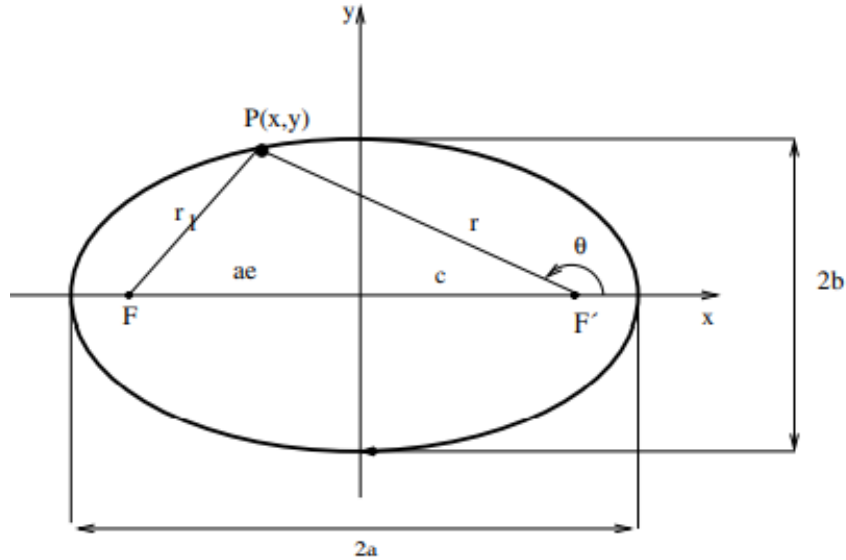
Então, concluímos que a órbita é determinada em termo das condições iniciais.

2.8 Órbitas Elípticas

Uma elipse é definida como o conjunto de pontos que satisfaz a equação

$$r_1 + r = 2a \quad (2.78)$$

Figura 2.4: Representação geométrica da elipse.



Fonte: Symon, 1982.

Em coordenadas cartesianas com o eixo horizontal (x), a equação da elipse é

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (2.79)$$

Para a descrição de uma órbita elíptica, é conveniente expressar a posição orbital em coordenadas polares, usando o ângulo θ . Na Figura (2.5), usando o teorema de Pitágoras para expressar r_1 em termos de r:

$$r_1^2 = r^2 \sin^2 \theta + (2a\varepsilon + r \cos \theta)^2 \quad (2.80)$$

Usando a identidade trigonométrica ($\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$), podemos reescrever a equação (2.54) dessa forma

$$r_1^2 = r^2 + 4a^2 \varepsilon^2 + 4ra\varepsilon \cos \theta, \quad (2.81)$$

Na equação $a\varepsilon$ representa a distância do centro da elipse até o foco, enquanto ε é a excentricidade da mesma. Se $\varepsilon = 0$, os focos coincidem e a elipse assume a forma de

uma circunferência. Conforme ε se aproxima de 1, a elipse degenera em uma parábola ou em um segmento de reta, dependendo se o foco F' se desloca para o infinito ou permanece a uma distância finita de F . Ao substituir r_1^2 na equação (2.52), chegamos a:

$$r = \frac{a(1 - \varepsilon^2)}{1 + \varepsilon \cos \theta} \quad (2.82)$$

Esta equação é de grande utilidade na aplicação da Lei das Órbitas de Kepler para descrever órbitas binárias sujeitas à influência gravitacional. Especificamente, ela se revela valiosa na determinação dos pontos de afélio e periélio de uma órbita elíptica. Definindo-se b como a metade do diâmetro menor, conforme ilustrado na figura (2.5), podemos expressá-lo como:

$$b = a(1 - \varepsilon^2)^{1/2} \quad (2.83)$$

Além disso, a área S de uma elipse pode ser calculada mediante a seguinte fórmula:

$$S = \pi ab \quad (2.84)$$

Cada uma das seções cônicas pode ser caracterizada em função de seu semi-eixo maior a e de uma excentricidade ε .

2.9 O problema de Kepler

Johannes Kepler formulou três leis que descrevem o movimento dos planetas, baseando-se em uma análise meticulosa dos dados coletados por seu antecessor, o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe. As três leis do movimento planetário de Kepler podem ser explicitadas da seguinte forma:

1. *A Lei das Órbitas: Cada planeta orbita o Sol em uma trajetória elíptica, tendo o Sol situado em um dos focos. Em decorrência da forma elíptica da órbita, a distância entre o planeta e o Sol varia ao longo do percurso. Essa lei depende, conforme demonstrado, das forças resultantes da lei do inverso do quadrado e da conservação da energia mecânica total.*

2. *A Lei das Áreas: A linha imaginária que liga o planeta ao Sol varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais. Essa lei implica que a velocidade orbital não é uniforme, mas varia de forma regular: quanto mais distante o planeta está do Sol, mais lentamente ele se move. Tal princípio decorre da conservação do momento angular e é válido para qualquer planeta em órbita em torno de um eixo que passa pelo Sol e é perpendicular ao plano orbital.*
3. *A Lei dos Períodos: O quadrado do período orbital de um planeta é diretamente proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol. Essa lei indica que os planetas com órbitas maiores movem-se mais lentamente em torno do Sol, o que implica numa diminuição da força gravitacional entre o Sol e o planeta à medida que a distância aumenta.*

A terceira lei pode ser deduzida a partir da consideração de que a força gravitacional é proporcional à massa do planeta, como será detalhado a seguir.

Ao igualar a área da órbita conforme a equação (2.22) à área de uma elipse conforme a equação (2.58):

$$\frac{L\tau}{2m} = \pi ab \quad (2.85)$$

Definindo τ como o período de um planeta, obtemos

$$\tau = \frac{2m\pi ab}{L} \quad (2.86)$$

Substituindo a constante b da equação (2.57), vem

$$\tau = \frac{2m\pi a^2(1 - \varepsilon^2)^{1/2}}{L} \quad (2.87)$$

ou ainda

$$\tau^2 = \frac{4\pi^2}{MG} a^3 \quad (2.88)$$

Na equação $\frac{4\pi^2}{MG}$, onde M é a massa do corpo central e G é a constante gravitacional, representa uma constante que é aplicável a qualquer planeta.

Consequentemente, de acordo com a terceira lei de Kepler, a razão entre o quadrado do período orbital de um planeta e o cubo da distância média entre o planeta e o corpo central permanece constante para cada órbita planetária (Halliday *et al.*, 2012).

Dessa forma, evidencia-se que as leis de Kepler podem ser deduzidas a partir das leis do movimento de Newton e da lei da gravitação universal (Symon, 1982).

3 Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel

Uma das teorias mais relevantes da Psicologia Construtivista é a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1918), um psicólogo e educador amplamente reconhecido nesse campo.

Essa teoria postula que o processo de aquisição de conhecimento pelo aprendiz implica compreender como todas as partes de um conceito se relacionam e se integram com seus conhecimentos prévios. Ao contrário da aprendizagem mecânica, na qual o aluno memoriza informações sem compreendê-las e sem perceber suas interconexões (NETTO; FREITAS, 2021).

Para ilustrar, considere um estudante do ensino médio que aprende os princípios fundamentais das três leis de Newton em uma disciplina de física ao longo de um semestre. Se esse conhecimento for adquirido mecanicamente, os conceitos são apenas memorizados e não são contextualizados, resultando em uma falta de conexão entre eles. No entanto, se a aprendizagem for significativa, os alunos serão capazes de relacionar os conceitos entre si, concentrando-se na compreensão do conteúdo em vez de apenas memorizá-lo. Esse último tipo de aprendizagem tende a permanecer com os alunos ao longo da vida.

Segundo David Ausubel, a aprendizagem significativa ocorre quando o novo conteúdo se relaciona com conceitos pré-existentes na mente do indivíduo. Isso implica que novas ideias e conceitos podem ser aprendidos de forma significativa à medida que estão associados a outras ideias já presentes na mente do aluno. Em essência, a teoria cognitiva de Ausubel enfatiza a utilização dos conhecimentos prévios dos alunos para construir novos aprendizados.

É evidente que os alunos se sentem mais motivados a aprender quando a nova informação apresentada faz sentido para eles. E esse tipo de aprendizagem é chamado de aprendizagem significativa. Ao contrário da aprendizagem mecânica, que se concentra na memorização superficial, como preparação para exames ou para cumprir requisitos

acadêmicos, a aprendizagem significativa busca estabelecer conexões com conhecimentos anteriores, com situações do cotidiano e com a própria experiência do aluno em sala de aula (ZABALA, 1998).

Para que ocorra a aprendizagem significativa, duas condições são fundamentais: a disposição dos alunos para relacionar o novo conhecimento ao que já sabem e a utilização de materiais potencialmente significativos, que tenham um significado lógico e estejam relacionados à estrutura cognitiva do aluno de maneira não arbitrária e substancial (PELIZARRI et al., 2001).

A substantividade refere-se à interpretação não literal de um conteúdo, mas à sua essência de forma subjetiva, atribuída pelo próprio indivíduo ao relacioná-lo a algo que faça sentido para ele. Quando uma nova informação se relaciona com a estrutura cognitiva de forma arbitrária e literal, ela não adquire significado para o indivíduo, resultando em uma aprendizagem mecânica.

A aprendizagem significativa é caracterizada pela interação de uma informação com aspectos relevantes da estrutura cognitiva do sujeito. Uma informação é aprendida de forma significativa quando se relaciona a outras ideias, conceitos ou proposições relevantes e inclusivas, que estejam claras e disponíveis na mente do indivíduo, funcionando como âncoras (PELIZZARI et al., 2002).

Essas âncoras permitem a associação entre as novas informações e aquelas já existentes, conferindo sentido ao relacioná-las com elementos semelhantes e conhecidos, facilitando a incorporação ao repertório do aluno.

O conhecimento prévio do aluno é a base que organiza, absorve e integra o novo conhecimento, por meio da ancoragem na estrutura cognitiva, até encontrar uma ligação com conhecimentos específicos relevantes, chamados de “*subsunçores*” (PELIZARRI et al., 2001).

Segundo Ausubel, o professor deve analisar os conhecimentos prévios dos alunos antes de tudo ou apresentar uma visão alternativa do conteúdo a ser ensinado. Uma estratégia didática para isso é o uso de atividades experimentais por meio de simuladores virtuais.

Os simuladores permitem a simulação de situações experimentais, proporcionando uma compreensão mais visual

dos fenômenos físicos. Um exemplo é o site PHET, da Universidade do Colorado, que oferece simulações para várias áreas, incluindo Física, Matemática, Química e Biologia. Muitos professores utilizam essas simulações para facilitar a compreensão dos conceitos físicos, mostrando que a Física vai além de cálculos matemáticos.

As atividades experimentais são consideradas materiais potencialmente significativos. Ausubel os vê como essenciais para a aprendizagem significativa, juntamente com o conhecimento prévio dos alunos. A partir dessas simulações, o professor pode desenvolver questões problemáticas que incentivam os alunos a apresentar suas próprias concepções.

Os simuladores virtuais são ferramentas didáticas que contribuem para uma aprendizagem significativa em sala de aula, permitindo uma compreensão mais clara dos fenômenos pelos alunos, já que os resultados podem ser visualizados com clareza e explorados com diferentes variáveis (COELLHO, 2002).

3.1 Sequência Didática

A didática é a área do conhecimento que trata dos métodos de ensino e aprendizagem teóricos e práticos, com o objetivo de desenvolver estratégias que tornem as aulas mais dinâmicas e envolventes para os alunos (CARVALHO, 2004).

Uma sequência didática é um conjunto de atividades estruturadas e ordenadas para alcançar objetivos educacionais específicos, com início e fim conhecidos tanto pelos professores quanto pelos alunos (ZABALA, 1998). Ela envolve um planejamento cuidadoso dos objetivos e metas do conteúdo programático.

Essa sequência didática é elaborada com base em um planejamento que inclui atividades questionadoras, procedimentos e ações mediadas pelo professor, utilizando várias ferramentas pedagógicas, como aula dialógica e leituras.

No ensino de ciências, especialmente na física, a introdução de novas tecnologias tem revolucionado o processo de ensino e aprendizagem. O uso de computadores, “*smartphones*” e softwares educacionais tem possibilitado novas abordagens de ensino, tanto com a mediação do professor quanto de forma independente (VALENTE, 2002).

Nesse contexto, propõe-se uma sequência didática que rompa com o ensino tradicional, no qual o aluno é visto como passivo, e o torne o centro do processo de ensino e aprendizagem (RODRIGUES et al., 2011).

A estratégia didática desenvolvida neste trabalho utiliza simuladores como ferramentas de ensino e facilitadores do processo de aprendizagem, incentivando o questionamento e a autonomia do aluno no processo de construção do conhecimento.

3.2 Mapas Conceituais

Conforme Novak e Cañas (2006), o mapa conceitual é uma estrutura hierárquica de conceitos, geralmente empregada para organizar ideias e estabelecer conexões entre elas. A proposta consiste em extrair os elementos mais relevantes das aulas, vídeos, textos e outros recursos didáticos, e dispor as informações em pontos principais representados em círculos interligados por linhas e palavras.

Um conceito é uma representação mental, uma noção ou uma ideia abstrata derivada de uma situação ou experiência particular vivenciada pelo aluno. O mapeamento conceitual é composto por diagramas que proporcionam uma visualização organizada de um conceito e suas associações ou explicações (NOVAK; GOWIN, 1984).

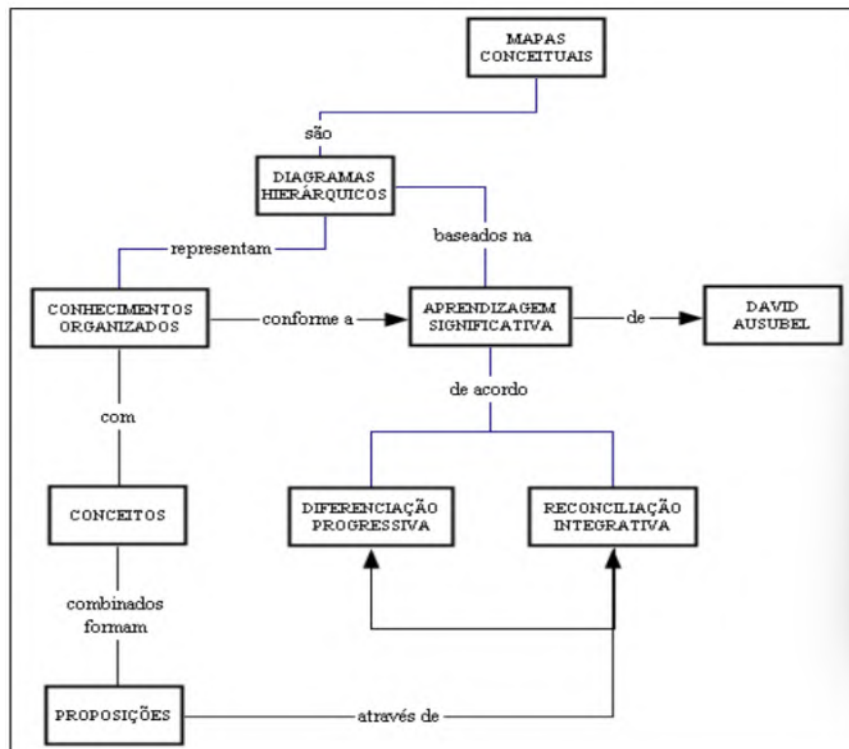
Existem diversos tipos de mapas conceituais com diferentes formatos e estruturas. Entre eles, estão os mapas do tipo aranha, escolhidos pela facilidade de diagramar conceitos; os fluxogramas, que possibilitam a visualização clara de processos; e os mapas hierárquicos, que organizam os conceitos desde os mais gerais até os mais específicos (serão desenvolvidos nesta Sequência Didática) (TAVARES, 2007).

O mapa conceitual, conforme exemplificado na Figura 3.1, é um modelo hierárquico construído de cima para baixo, partindo do mais geral (no topo do mapa) para o mais específico (partes inferiores).

Na figura 3.2, apresenta-se o mapa conceitual sobre força, observando-se que ele se inicia com o conceito central (Força) e, em seguida, incorpora conceitos complementares que, combinados, proporcionam uma representação visual do conteúdo.

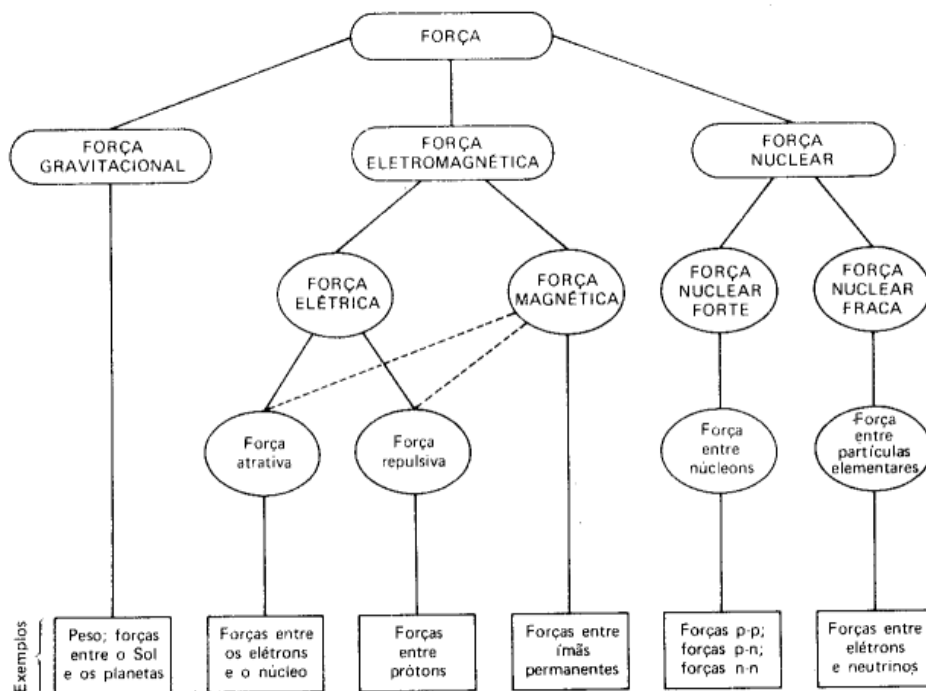
O mapa conceitual foi empregado neste produto educacional como uma ferramenta de estudo, auxiliando na compreensão do estudante e como método de

Figura 3.1: Construindo um mapa conceitual hierárquico.



Fonte: NUNES E COSTA, 2022.

Figura 3.2: Construindo um mapa conceitual hierárquico.



Fonte: MOREIRA, 1997.

coleta de dados de aprendizagem. A elaboração dos mapas conceituais ao final da aplicação do produto educacional contribui para estimular a criatividade e evidenciar as relações presentes na estrutura cognitiva dos indivíduos, gerando novas oportunidades de aprendizagem e revisão de conceitos (MOREIRA, 2012).

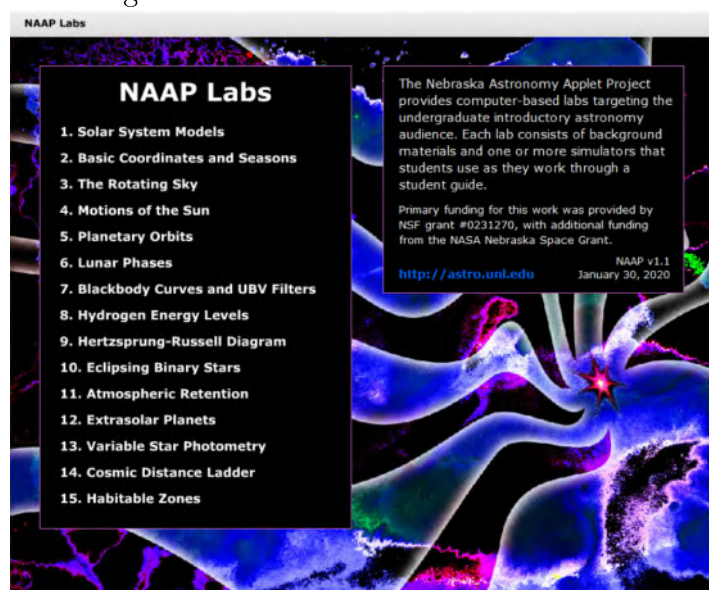
4 Planetary Orbit Simulator

O Planetary Orbit Simulator é um *software* de simulações que modela o movimento dos planetas do nosso sistema solar de acordo com as leis do movimento planetário de Kepler e com a lei da Gravitação Universal de Newton, que está incluído no Nebraska Astronomy Applet Project (NAAP) um laboratório virtual com demonstrações que permitem discutir questões relacionadas aos aspectos teóricos da Física, principalmente da astronomia, voltados para o público de nível médio e de graduação.

Para utilizar o simulador, o professor (ou aluno) deve, primeiramente, fazer o *download* do pacote apropriado para seu sistema de computador. Esses são *softwares* executados em seu sistema operacional nativo e sua longevidade depende apenas do seu sistema operacional. O aplicativo poderá ser executado em *Windows* (64 bits e 32 bits) e em computadores *Macintosh* (64 bits).

O guia e informações para *download* pode ser adquirido gratuitamente na plataforma da Native Apps por meio do *site* <https://astro.unl.edu/nativeapps/>. O simulador está disponível apenas no idioma da língua inglesa, porém pode ser facilmente traduzido por meio do *google* tradutor.

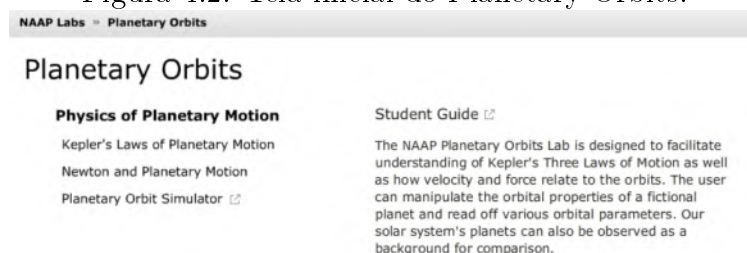
Figura 4.1: Tela inicial do NAAP Labs.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

A figura 4.1 mostra a primeira visão que temos do aplicativo da NAAP labs após ter concluído a instalação em seu computador. Esse aplicativo é muito útil, pois além de mostrar as simulações físicas, apresenta uma breve explicação do conteúdo e algumas sugestões de atividades.

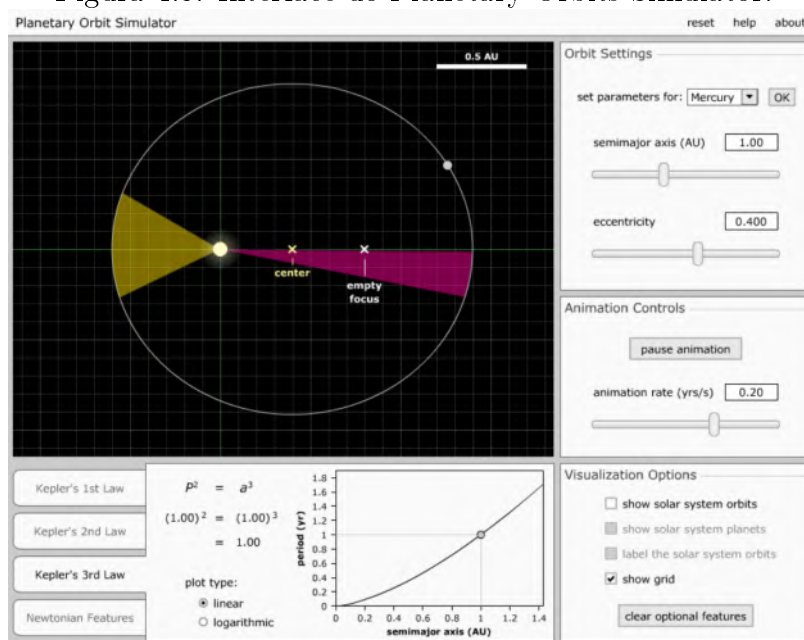
Figura 4.2: Tela inicial do Planetary Orbits.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

Ao clicar no item 5 da figura 4.1 (5. Planetary Orbits), será encaminhado até interface da NAAP Labs. Na figura 4.2 podemos ver a tela inicial do *software* onde teremos uma introdução as Leis do movimento de Kepler e a lei da Gravitação de Newton, bem como o simulador do movimento planetário.

Figura 4.3: Interface do Planetary Orbits Simulator.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

Quando é clicado no nome Planetary Orbits Simulator aparece a tela inicial do simulador com as principais barras de ferramentas, conforme a figura 4.3. Este simulador

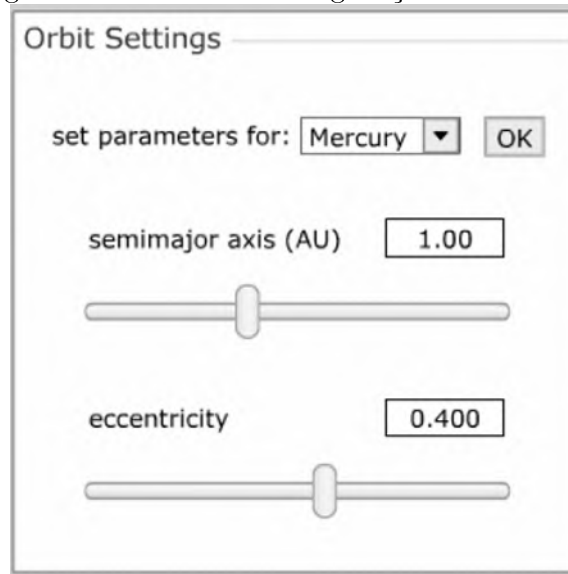
ilustra a física das órbitas planetárias. São demonstrados cada uma das três leis de Kepler e os aspectos da lei de Newton. O aluno pode controlar o tamanho e a excentricidade da órbita, visualizar vetores de velocidade e aceleração, os eixos da órbita, entre outras coisas.

Como vimos o simulador Planetary Orbits tem um *layout* intuitivo e a interface bem direta e fácil de manipular.

4.1 Funcionalidades do Simulador

Este tópico tem por finalidade ajudar professores e alunos na familiarização das funcionalidades e ferramentas do Simulador de Órbitas Planetárias e mostrar de forma clara e direta como manipular as principais variáveis que serão utilizadas posteriormente em nossa proposta de ensino. Contudo, vale ressaltar que os procedimentos apresentados não são os únicos, os professores e alunos podem explorar ainda mais os recursos caso haja necessidade.

Figura 4.4: Menu de configurações das órbitas.



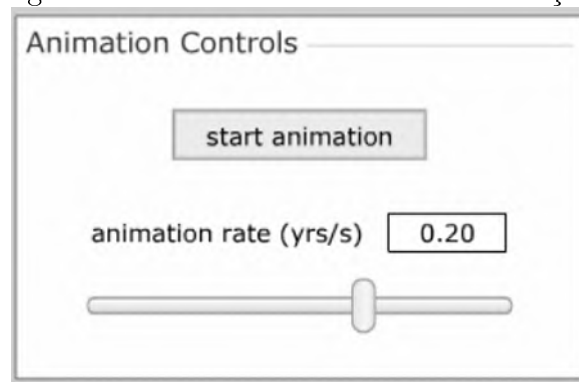
Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Menu de configurações das órbitas, figura 4.4.
 - Esse recurso oferece um parâmetro na qual o aluno pode escolher em qual dos

oito planetas (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Netuno incluindo o Plutão) irá fazer a simulação da trajetória orbital.

- Semimajor axis (AU): Você pode ajustar o semieixo maior da elipse deslizando a barrinha. Com essa opção você poderá visualizar que o eixo maior é a distância do centro a qualquer um dos focos. Ele é medido em Unidade Astronômica (AU) e varia de 0.1AU até 50.0 AU.
- Excentricity: A excentricidade da órbita também pode ser alterada e com isso você pode ver o desvio da órbita dos planetas a partir de uma órbita circular. A excentricidade varia de 0 para uma órbita circular a 1 em uma órbita altamente elíptica.

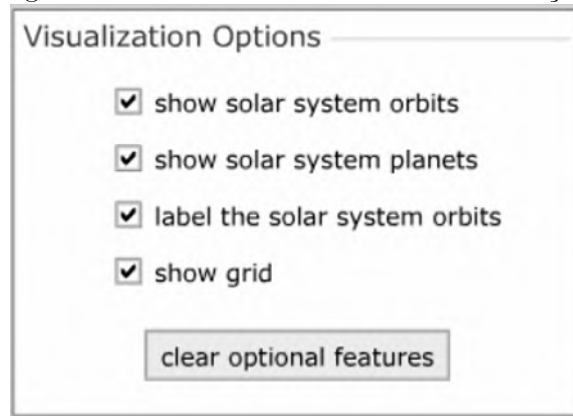
Figura 4.5: Menu de Controle da Animação.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Menu de Controle da Animação, figura 4.5.
 - Você pode iniciar a animação.
 - Você pode ajustar a escala temporal em anos por segundo - basta arrastar a barrinha para esquerda ou para direita - fazendo isso você pode observar que a velocidade com que os planetas fazem suas trajetórias poderá ser modificada.
- Menu de visualização das órbitas, figura 4.6.
 - As órbitas do sistema solar.
 - Os planetas do sistema solar.

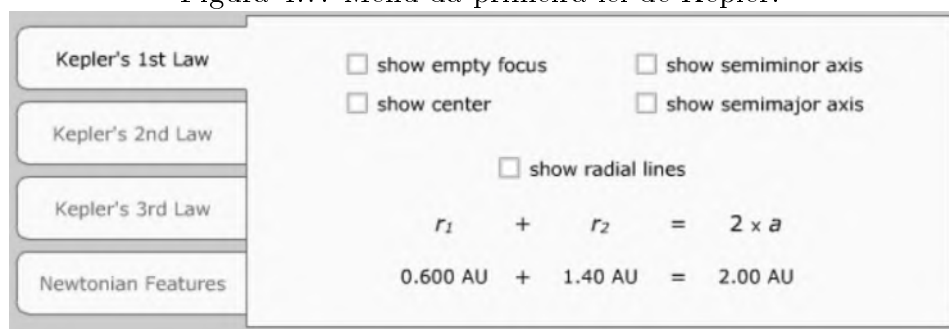
Figura 4.6: Menu de Controle da Animação.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Nomear as órbitas do sistema solar.
- Mostrar as grades.

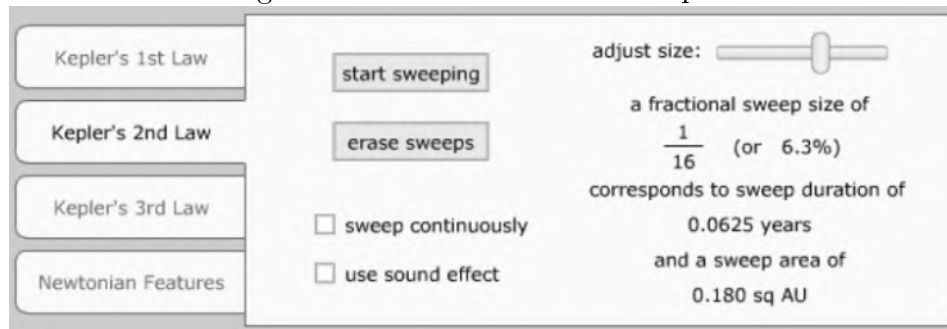
Figura 4.7: Menu da primeira lei de Kepler.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Menu de visualização da primeira lei de Kepler, figura 4.7.
 - Nesta aba, pode-se observar cinco caixas que podem ser selecionadas. Na primeira caixa *show empty focus* podemos visualizar uma órbita elíptica o Sol fica em um dos focos.
 - Também podemos selecionar as medidas dos semieixo maior e semieixo menor, quanto maior a diferença de tamanho dos dois mais excêntrico será a elipse. Ou seja, nos diz o quão deformada é a trajetória dos planetas.
 - É possível, ainda, perceber que os planetas não ficam sempre a mesma distância do Sol. Existe um ponto em que o planeta está mais próximo do Sol, chamado de periélio, e um ponto em que fica mais distante, chamado afélio.

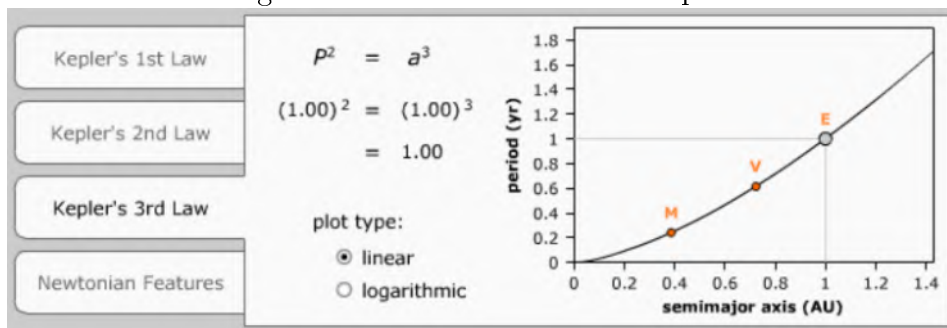
Figura 4.8: Menu da 2ª lei de Kepler.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Menu de visualização da segunda lei de Kepler, figura 4.8.
 - Através desta aba podemos perceber como se comporta a velocidade dos planetas em suas trajetórias. Note que quando o planeta está mais distante do Sol, a velocidade tende a diminuir e quando mais próximo o planeta acelera, ou seja sua velocidade aumenta.
 - Selecionando o botão *Stop sweeping* e iniciando a simulação, pode-se observar faixas coloridas que representam as áreas e mostra que algumas regiões de tamanhos diferentes para cada uma das cores, varridas em intervalos de tempos iguais. Então as áreas também são iguais.
 - Ao deslizar a barra *adjust size*, é possível definir o tamanho da área varrida pelo planeta.

Figura 4.9: Menu da 3ª lei de Kepler.

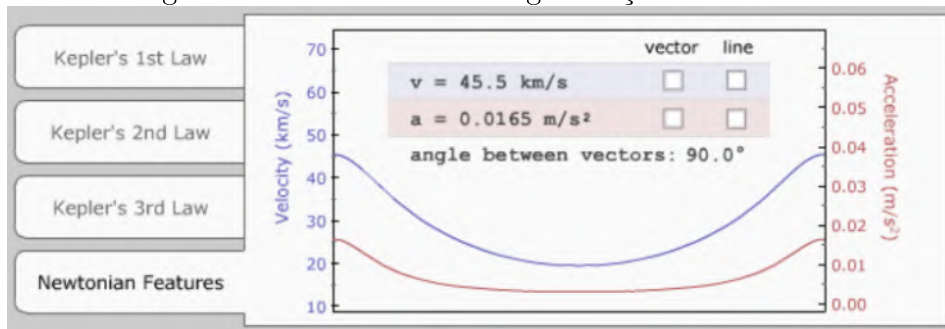


Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Menu de visualização da terceira lei de Kepler, figura 4.9.

- Aqui podemos visualizar a relação entre a distância de um planeta ao Sol e seu tempo de revolução, ou seja para dar uma volta completa em torno do Sol.
- Nesta aba, podemos comprovar que o período de revolução de um planeta ao quadrado é igual ao cubo do semieixo maior, conforme a expressão $p^2 \propto a^3$ que faz o cálculo para o planeta selecionado.

Figura 4.10: Menu da lei da gravitação de Newton.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Menu de opções de visualização das órbitas, figura 4.10.
 - Na aba da lei de Newton podemos visualizar os vetores da velocidade e aceleração dos planetas e o ângulo entre eles.
 - Será possível perceber que a direção e o tamanho dos vetores mudam. No caso da aceleração, seu vetor muda de tamanho de acordo com diferentes pontos da trajetória, ou seja, quanto mais próximo do Sol maior o vetor, no entanto sua direção permanece a mesma sempre apontando para o Sol. Já para a velocidade, o seu vetor muda constantemente de direção e tamanho.

5 Proposta de Sequência Didática

A elaboração da sequência didática teve como premissa explorar a teoria da aprendizagem significativa, concebida por David Ausubel, que estabelece uma ligação direta entre a nova informação e as concepções prévias dos alunos. Segundo Ausubel, “[...] o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; descubra isso e ensine-o de acordo” (MOREIRA, 1999).

Além disso, uma atividade que promova a aprendizagem significativa requer uma análise das relações entre os materiais propostos na atividade e a predisposição do estudante para aprender, visto que a existência de uma relação entre os dois promove uma verdadeira aprendizagem, permitindo a atribuição de significados ao conhecimento.

Os conteúdos abordados no desenvolvimento do trabalho seguiram alguns pontos principais: compreensão e apreciação da força da gravidade idealizada por Newton; entendimento do movimento dos corpos celestes a partir das três leis de Kepler; previsão da trajetória de satélites, cometas e planetas. Esses conteúdos foram organizados de tal forma que os conceitos mais gerais e inclusivos foram incorporados na primeira etapa da sequência didática e, gradualmente, diferenciados em suas especificidades, conforme preconizado por Ausubel no processo de diferenciação progressiva (OLIVEIRA et al., 2011).

A organização desses conceitos permite ao estudante fazer conexões e estabelecer ligações entre ideias, contemplando o segundo princípio da organização programática de conteúdo, conforme a Aprendizagem Significativa, que é a reconciliação integrativa (segundo princípio) (MOREIRA; MASINI, 1982). Dessa forma, o conteúdo é organizado de maneira progressiva no sequenciamento dos temas, propiciando uma organização sequencial que permite conexões entre os conceitos.

A sequência didática é composta por 8 (oito) aulas, cada uma delas com duração de 50 minutos. A construção se deu a partir da busca e análise dos simuladores computacionais (SC) disponíveis na internet. O simulador selecionado possibilita a adoção de diferentes estratégias didáticas visando aulas mais dinâmicas e interativas, com um apelo visual que oferece ao estudante a possibilidade de uma melhor compreensão e

aprendizagem.

Na tabela 5.1, apresenta-se a descrição da elaboração de cada etapa da sequência didática:

Tabela 5.1: Quadro descritivo das etapas da Sequência Didática.

ETAPAS	DESCRIÇÃO	TEMPO
Resgatando os conhecimentos prévios	As atividades propostas nessa etapa permitem o acesso aos conhecimentos prévios dos alunos sobre o movimento dos corpos e a gravidade, visando diagnosticar o grau de maturação da turma. Essas atividades possibilitam a conscientização das próprias ideias dos alunos e a importância do que eles já sabem sobre a temática da aula.	2 (duas) aulas
Introduzindo a Astronomia	Nesta etapa, os estudantes terão a oportunidade de compreender os aspectos gerais da gravidade (a força de atração entre os corpos - lei de Newton para a gravitação) por meio de atividades com o SC, percebendo-se como parte do universo e, portanto, também sujeitos à ação da força da gravidade.	2 (duas) aulas
Compreendendo a Gravidade	As atividades desta etapa têm como objetivo apresentar as três leis que descrevem o movimento dos corpos celestes, contemplando a compreensão da lei da gravitação universal e seus desdobramentos, a partir de simulações computacionais.	2 (duas) aulas
Aplicação	A proposta para esta aula permite a percepção dos conceitos científicos adquiridos pelos alunos após a intervenção didática. Uma atividade será realizada ao fim de todo o processo, visando observar os avanços e assimilações do aluno frente ao conteúdo ministrado.	2 (duas) aulas

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A sequência didática foi dividida em quatro etapas, como mostrado na tabela, contemplando os princípios de organização conceitual da teoria da aprendizagem significativa e os SC. A seguir, são descritas cada uma delas.

5.1 Primeira Etapa: Resgatando os conhecimentos prévios

Observe o movimento dos corpos caindo no chão a partir de situações físicas e digitais para desenvolver uma compreensão de que todos os objetos, independentemente de sua massa, caem no chão na mesma velocidade e ao mesmo tempo quando soltos de uma mesma altura. Esta atividade inclui mídia, como vídeos e experiências que os alunos podem analisar e usar como evidência para construir uma resposta para a pergunta foco: “Por que as coisas caem?”

Os alunos provavelmente já ouviram falar que a força da gravidade da Terra é o que impede cada um de nós de flutuar no espaço. Nesta atividade, os alunos desenvolverão suas próprias observações e aprendizado para compreender melhor a força da gravidade. Ao final desta atividade, os alunos serão capazes de construir uma explicação sobre por que dois objetos soltos de uma mesma altura atingem o solo praticamente no mesmo instante e com a mesma velocidade, independentemente de sua massa - um conceito conhecido como lei da queda dos corpos.

- **Atribuição de tempo**

Duas aulas de aproximadamente 50 minutos cada.

- **Objetivos**

- Explicar o porque dos objetos, independente de sua massa, soltos de uma mesma altura caem no chão com a mesma velocidade.
- Compreender que a matéria possui propriedade de atrair matéria (propriedade medida pelo valor da massa).

- **Preparação para professores**

Em 1687, Isaac Newton publicou “Philosophiae Naturalis Principia Mathematica”, uma obra de imenso e profundo impacto. Newton apresentou três leis do movimento e uma lei da gravitação universal. Elas eram um conjunto unido de princípios

que se aplicavam não apenas aos céus, mas também à Terra de maneira uniforme. Sua simplicidade e aplicabilidade extremamente ampla mudaram para sempre a astronomia.

A história conta que Newton descobriu a Gravidade quando viu uma maçã caindo enquanto pensava nas forças da natureza. Mas independente do que tenha realmente acontecido, Newton percebeu que alguma força deveria estar agindo sobre objetos em queda, porque, caso contrário, as maçãs não começariam a cair e permaneceriam onde estavam, em repouso.

Ao iniciar a explicação sobre o que é a gravidade, convém revisar alguns conceitos, por exemplo: massa é a quantidade de matéria em um determinado volume de algo. Volume é a quantidade de espaço que um objeto ou substância ocupa. Por exemplo, a massa de um saco de 1 kg de pregos é a mesma antes e depois de derretermos todos os pregos até o tamanho de uma bolinha de golfe. A massa de um objeto é o que determina quanta força é necessária para movê-lo, acelerá-lo ou desacelerá-lo. Quanto maior a massa do objeto, mais força é necessária para alterar seu movimento.

Gravidade é a ação da força gravitacional que age entre quaisquer dois objetos que tenham massa. Peso é uma medida da força da gravidade puxando um objeto. A massa e o peso são coisas diferentes. O peso de um objeto depende de quão fortemente a gravidade está atuando sobre ele. Assim, algo pesará menos onde a força gravitacional sobre ele for mais fraca (como na Lua ou no espaço, por exemplo), mesmo que sua massa permaneça a mesma.

● Materiais

- Computador
- Projetor de multimídia
- Folha de papel A4
- Livro
- Pena
- Duas bolas de mesma massa, volumes diferentes.
- Duas bolas de mesmo volume, massas diferentes.

● Recursos multimídia

- Vídeo: Por que corpos de diferentes pesos caem juntos?
- Vídeo: Por que a Terra não cai no Sol?

- **Sugestão de Atividade**

Extraia ideias dos alunos e construa um histórico sobre a gravidade e por que as coisas caem. Em sua discussão, peça aos alunos, conforme necessário, para fazê-los perceber que a gravidade não é a mesma em todos os planetas e estrelas. Por exemplo, segure um livro e uma pena e peça aos alunos que prevejam o que aconteceria se você os soltasse simultaneamente da mesma altura: eles atingiriam o solo ao mesmo tempo ou em momentos diferentes? Não deixe cair os objetos neste momento.

Os alunos então assistem dois vídeos. O primeiro vídeo, intitulado "Por que corpos de diferentes pesos caem juntos?", disponível no canal do *Youtube* "Universo Narrado", mostra a lei da Queda Livre, que foi introduzida em 1604 numa carta escrita pelo físico italiano Galileu Galilei a seu amigo Paolo Sarpi. Após a exibição do vídeo, pergunte:

- Você esperava que o martelo e a pena pousassem na superfície da Lua ao mesmo tempo?
- Por que você acha que isso aconteceu?

Em seguida, solte o livro e a pena para que eles vejam o fenômeno acontecer na prática e para que os alunos tentem explicar os fatores que os produziram.

O segundo vídeo, "Por que a Terra não cai no Sol?", é uma explicação de uma dúvida bastante comum que surge entre os estudantes. Por exemplo: se é a gravidade que nos mantém presos a Terra e faz com que os corpos caiam no chão, por que então não faz a Terra cair no Sol. Ele oferece uma resposta a essa questão explicando o que é a gravidade e porque matéria atrai matéria. Ao reproduzir este vídeo oriente os alunos a observar e discutir a gravidade como uma força que puxa objetos em direção à Terra e pergunte:

- O que é gravidade?
- Onde está a gravidade?

- O que a gravidade faz?

Dê aos alunos tempo para verificar e desenvolver suas ideias . Registre seus pensamentos no quadro ou em uma folha de papel, para que você possa retornar a eles mais tarde.

Identifique junto com os alunos ideias relevantes que podem ajudar a explicar por que as coisas caem. Circule as ideias que todos concordam que ajudarão na investigação. (Nota: Se os alunos não chegaram lá por conta própria, oriente-os a reconhecer a importância da gravidade nesse movimento.)

Divida os alunos em pequenos grupos (cerca de 4 alunos) para que simulem a queda de corpos com os objetos que foram levados para aula. Discuta o efeito da massa na velocidade de um corpo em queda. Peça aos alunos que façam um debate de vários eventos diários nos quais se possa observar a independência da massa na aceleração de um objeto em queda devido à gravidade.

Espera-se que ao fim deste momento que os alunos compreendam que a gravidade é a força que existe entre quaisquer dois objetos que tenham massa. O peso é a força da ação da gravidade sobre um objeto que possui massa. Algumas pessoas pensam que a massa de um objeto e seu peso são a mesma coisa, provavelmente porque pesamos as coisas para determinar sua massa. Mas peso e massa não são a mesma coisa. O quanto algo pesa depende de quão fortemente a gravidade o está puxando. Assim, algo pesará menos onde a força gravitacional sobre ele for mais fraca (como na Lua ou no espaço, por exemplo), mesmo que sua massa não tenha mudado.

Termine com uma discussão em classe sobre as ideias dos alunos que foram registradas no início da aula. Como eles responderiam a essas perguntas agora? Como suas novas respostas se comparam com as antigas?

5.2 Segunda Etapa: A gravidade

Nesta etapa, utilizou-se alguns recursos tecnológicos, dentre eles, o simulador computacional de Órbitas Planetárias integrado com uma atividade investigativa em sala para proporcionar aos alunos uma visão mais próxima do movimento real dos corpos

celestes. Eles usaram, também, a fórmula da força gravitacional para calcular e examinar a força de atração entre os corpos.

- **Atribuição de tempo**

Duas aulas de aproximadamente 50 minutos cada.

- **Objetivos**

- Explicar como a gravidade controla o movimento dos planetas em órbita ao redor do Sol.
- Identificar as variáveis que afetam a força da gravidade.
- Prever como o movimento mudaria se a gravidade fosse mais forte ou mais fraca.

- **Preparação para professores**

Primeiramente, o professor deve apresentar o simulador Planetary Orbits da Naap Labs aos alunos. Este momento visa a familiarização do aluno com a plataforma do simulador, em que eles identificam e exploram todos os recursos para como realizar as conexões. Esta atividade pode ser realizada no laboratório de informática ou na própria sala de aula. No caso da escola possuir computadores os alunos poderão responder as atividades propostas em grupos pequenos, manipulando as simulações. Caso não haja laboratório o professor pode comandar as simulações com um projetor de vídeo conectado ao seu computador e orientar os alunos na construção de seus conhecimentos esclarecendo todas as dúvidas técnicas.

Isaac Newton descobriu a relação entre o movimento da Lua e o movimento de um corpo caindo livremente na Terra. Por suas teorias dinâmicas e gravitacionais, ele explicou as leis de Kepler e estabeleceu a moderna equação da gravitação, formulando que a força de atração entre dois corpos é proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

Newton assumiu a existência de uma ação de uma força de atração entre todos os corpos massivos, que não requer contato e que atua à distância. Embora seja a mais fraca das quatro forças conhecidas, ela molda a estrutura e a evolução das estrelas,

das galáxias e de todo o universo. As leis da gravidade descrevem as trajetórias dos corpos no sistema solar e o movimento dos objetos na Terra, onde todos os corpos experimentam uma atração gravitacional para baixo exercida pela massa da Terra, a força sentida como peso.

- **Materiais**

- Folha de papel A4
- Lápis
- Projetor de multimídia
- Acesso a computador

- **Recursos multimídia**

- Planetary Orbits Simulator.

- **Sugestão de Atividade**

Comece aula revendo a questão de foco, da aula anterior “Por que as coisas caem?” reflita sobre as experiências realizadas e peça aos alunos que usem o simulador computacional para investigar um pouco mais. Os grupos podem compartilhar:

1. Como eles revisaram suas ideias após a discussão da aula anterior.
2. Quais perguntas eles responderam e quais novas perguntas eles têm.

Apresente o conceito de força gravitacional por meio de slides ou escrevendo na lousa. Diga aos alunos que eles aprenderão sobre como os planetas se mantêm sempre em órbita no sistema solar, bem como a expressão matemática que age sobre esse sistema.

Encaminhe os alunos para o simulador Planetary Orbits da Naap Labs. Aqui, os alunos podem experimentar a força gravitacional sob uma variedade de condições, alterando os planetas do sistema solar, o semieixo maior, a excentricidade e até os vetores de velocidade e aceleração dos planetas. Eles também podem controlar a velocidade da animação em (anos/s).

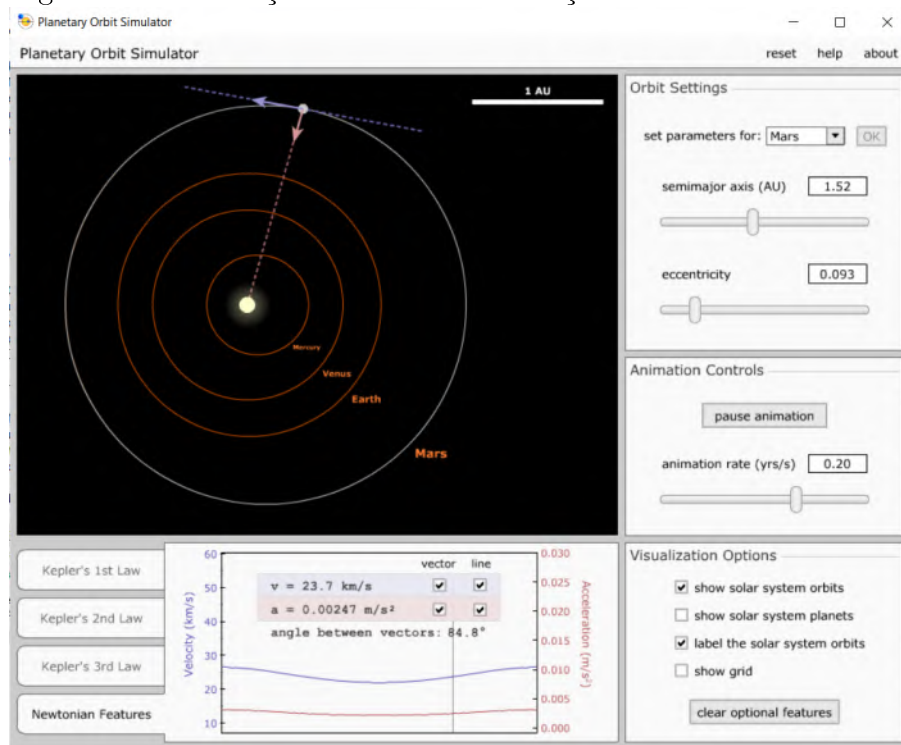
À medida que os alunos praticam com a atividade interativa, oriente-os que testem os recursos individualmente, desligando algumas variáveis. Em seguida, peça-lhes que respondam às perguntas abaixo em seus cadernos. Diga-lhes para também registrarem qualquer uma de suas próprias perguntas que surgirem enquanto estão investigando.

1. O que acontece com o movimento do planeta quando aumentamos ou diminuímos o semieixo maior da órbita dos planetas?
2. Qual é o efeito que ocorre no movimento dos planetas quando diminuímos o valor da excentricidade para 0 (zero)?
3. Como a excentricidade afeta o movimento dos planetas?
4. Liste as diferenças que podem ser percebidas no movimento de cada planeta do nosso sistema planetário.
5. Desenhe um diagrama de um dos planetas em movimento. Indique onde a velocidade do planeta é maior e menor.
6. O que é a força gravitacional (a gravidade) e como ela muda de planeta para planeta?

Em seguida, o professor deve distribuir um folheto que fornece a fórmula para calcular a força gravitacional, bem como exemplos de problemas envolvendo a gravidade. Peça aos alunos que acompanhem, por meio do folheto, a explicação de como Isaac Newton deduziu a expressão matemática da lei da gravitação Universal. Mostre o vídeo A Lei da Gravitação Universal, nele os alunos verão como calcular a força de atração entre o planeta Terra e a Lua.

Após discutir a fórmula da lei da gravitação universal, solicite aos alunos que façam a atividade abaixo e preencham a folha de dados calculando a força gravitacional e a velocidade orbital dos planetas. Certifique-se de revisar o fato de que G é uma constante de proporcionalidade que depende do sistema de unidades adotado.

Figura 5.1: Simulação da Lei da Gravitação Universal de Newton.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

5.2.1 Atividade 01: Velocidade orbital dos planetas ao redor do Sol.

1. (a) Divida os alunos em grupos de dois e forneça cópias da folha de dados e da folha de atividade.
- (b) Peça aos alunos que calculem a força gravitacional do planeta sugerido usando sua fórmula deduzida em aula:

$$F_G = G \frac{Mm}{r^2}$$

(Cada grupo calculará velocidade orbital do planeta que estiver solicitado em sua folha de atividade.)

- (c) Peça aos alunos que calculem velocidade orbital do planeta ao redor do Sol em Km/s e registrem no caderno. Certifique-se de que os alunos para calcular a velocidade orbital do planetas eles devem considerar a força gravitacional igual

a força centrípeta que é dada pela seguinte expressão:

$$F_c = m \frac{v^2}{r}$$

- (d) Em seguida, oriente aos alunos que visitem o simulador Planetary Orbits da Naap Labs e verifiquem se os resultados aproximados das velocidades orbitais dos planetas estão corretos. (Para conferir os resultados os alunos terão que definir no simulador qual o seu planeta, iniciar a simulação)
- (e) Pergunte aos alunos o que aconteceria com os resultados das velocidades orbitais se considerássemos órbitas circulares para os planetas. Elas permaneceriam as mesmas ou seriam modificadas?
- (f) Dê um tempo para que os grupos discutam e revisem seus cálculos. Informe aos alunos que eles testarão essas ideias usando novamente o simulador Planetary Orbits.

No final da segunda etapa, os alunos devem saber que: Isaac Newton, com base nas descrições anteriores de movimento de Galileu, Kepler e outros, criou uma visão unificada de força e movimento na qual o movimento em todo o universo pode ser explicado. A ideia de Newton foi criar uma lei física afirmando que a força da gravidade entre quaisquer dois objetos no universo depende apenas de suas massas e da distância entre eles.

5.3 Terceira Etapa: As leis de Kepler

As leis de Kepler do movimento planetário são compostas de três leis que descrevem o movimento e a órbita dos planetas ao redor do sol. Kepler explicou como os planetas se moviam, mas não explicava porque se moviam assim. Embora reconhecesse que algum tipo de força devia manter os planetas em suas órbitas, ele não logrou encontrar uma explicação satisfatória para que tipo de força seria. Coube a Newton explicar as propriedades da força fundamental dominando os movimentos dos corpos astronômicos: a gravidade.

Newton combinou suas leis do movimento e da Gravitação Universal para deduzir as três leis de Kepler.

- **Atribuição de tempo**

Duas aulas de aproximadamente 50 minutos cada.

- **Objetivos**

- Compreender a importância das contribuições de Kepler para a astronomia;
- Compreender as três leis de Kepler;
- Descrever as leis de Kepler usando o movimento orbital do planeta Marte;
- Aprender a utilizar as leis de Kepler para os planetas, estrelas e satélites do Sistema Solar.

- **Preparação para professores**

Nesta atividade, os alunos devem entender como Kepler desenvolveu as suas três leis do movimento planetário e como Newton usou essas leis para descobrir os efeitos da gravidade.

A descoberta do modelo Heliocêntrico de Copérnico em que a Terra gira em torno do Sol foi uma grande mudança na forma como pensamos sobre nosso lugar no universo. Antes disso, acreditava-se amplamente no modelo Geocêntrico de Ptolomeu em que a Terra era o centro do universo.

As leis que explicam como os planetas e corpos celestes giram em torno no Sol foram formuladas por Johannes Kepler, um astrônomo alemão, que se debruçou-se sobre os dados observacionais obtidos por Tycho. Tycho Brahe era um rico astrônomo dinamarquês com um extravagante laboratório na Dinamarca. Ele era de uma família nobre e, portanto, recebeu uma educação formal completa. Ele foi um dos últimos astrônomos a trabalhar sem telescópio. No entanto, ele desenvolveu instrumentos para fazer medições com precisão e seus dados observacionais eram muito valorizados na época.

Kepler foi convidado a ser assistente de Brahe, para trabalhar na órbita de Marte. Olhando para o céu noturno no mesmo horário, foi possível observar que Marte

estava um pouco mais a leste todas as noites em comparação com as constelações. Há momentos em que Marte parece estar viajando para trás por um curto período de tempo em comparação com as "estrelas fixas" (movimento retrógrado).

Então, Kepler propôs suas três leis do movimento planetário, que diziam que os planetas orbitam o sol em órbitas elípticas, era uma maneira completamente nova de pensar sobre o sistema solar.

- **Materiais**

- Folha de papel A4
- Lápis
- Projetor de multimídia
- Acesso a computador

- **Recursos multimídia**

- Vídeo: Astrolab|Marte;
- Vídeo: Segunda Lei de Kepler;
- Vídeo: Terceira lei de Kepler;
- Planetary Orbits Simulator.

- **Sugestão de Atividade**

Descubra o que os alunos já sabem sobre as leis de Kepler. Faça as seguintes perguntas:

- Como os planetas se movem?
- As órbitas dos planetas em nosso sistema solar diferem uma das outras?
- Você conhece as leis que regem o movimento do nosso sistema solar?
- Você sabe o que as leis do movimento planetário representam?

peça aos alunos para discutirem suas ideias e que desenhem exemplos desse movimento planetário.

Mostre o vídeo “Astrolab|Marte” disponível na Tvunesp um canal do *Youtube*. Discuta sobre as características do planeta Marte e outros exemplos de movimento relativo em comparação com os outros planetas.

A questão problematizadora para discussão pode ser a seguinte:

Qual a relação que podemos fazer a partir das propriedades orbitais de um planeta e seu movimento? (As respostas esperadas incluem o tamanho relativo do planeta e quão rápido o planeta está se movendo.)

Os alunos podem conversar entre si para compartilhar suas observações do movimento dos planetas com toda a turma. Concentre esta breve discussão no movimento do planeta Marte, bem como na frequência com que eles acham que o Mercúrio orbita o Sol em relação aos outros planetas.

Em seguida, introduza as leis de Kepler, que foram descritas no século XVII pelo astrônomo e matemático Johannes Kepler para explicar o movimento dos planetas ao redor do Sol. Antes de reproduzir o vídeo, peça aos alunos que pensem se as leis de Kepler se aplicam a este movimento do Marte e se podem ser estendidas aos outros planetas que orbitam em torno de suas estrelas ou aos satélites artificiais que orbitam em torno de nosso próprio planeta.

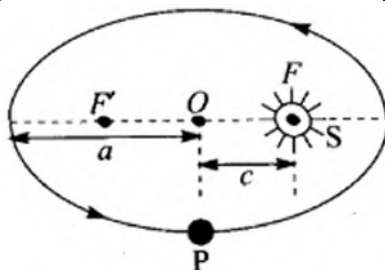
Veja as Leis do Movimento Planetário de Kepler descritas usando três vídeos e um modelo interativo que os alunos podem analisar e usar como evidência para construir sua aprendizagem.

Os dois primeiros vídeos foram retirados de um canal do youtube chamado Socrática Português e o terceiro

Primeira Lei de Kepler: Lei das Órbitas Elípticas é o primeiro vídeo que será exibido aos alunos. Nesse vídeo, você verá que ao desenvolver sua primeira lei, Kepler rejeitou as órbitas circulares e demonstrou que uma elipse poderia explicar melhor os movimentos observados em Marte. e estendeu essa regra a todos os planetas, a lei determinou que a órbita dos planetas é elíptica, com o Sol em um de seus focos. Veja a figura 4.2:

O segundo vídeo é “Segunda Lei de Kepler”, essa lei diz que se desenharmos

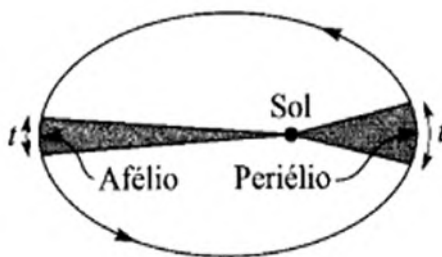
Figura 5.2: Primeira Lei de Kepler.



Fonte: Nussenzveig, 2002.

uma linha entre o Sol e um planeta, essa linha percorrerá áreas iguais em intervalos de tempos iguais, não importando onde o planeta estiver dentro da órbita. Isso levou à descoberta da primeira lei de Kepler que diz que os planetas viajam em órbitas elípticas ao redor do Sol veja a figura 4.3.

Figura 5.3: Segunda Lei de Kepler.



Fonte: Nussenzveig, 2002.

No terceiro vídeo “Terceira lei de Kepler”, é mostrado a relação entre o período de revolução de um planeta ao redor do Sol e o raio médio da órbita do planeta. Diferentemente das outras leis, a terceira lei de Kepler relaciona as características dos movimentos de diferentes planetas com outros.

Kepler descobriu que a razão entre os quadrados dos períodos de translação dos planetas e os cubos dos respectivos raios médios das órbitas será sempre constante. Veja a equação:

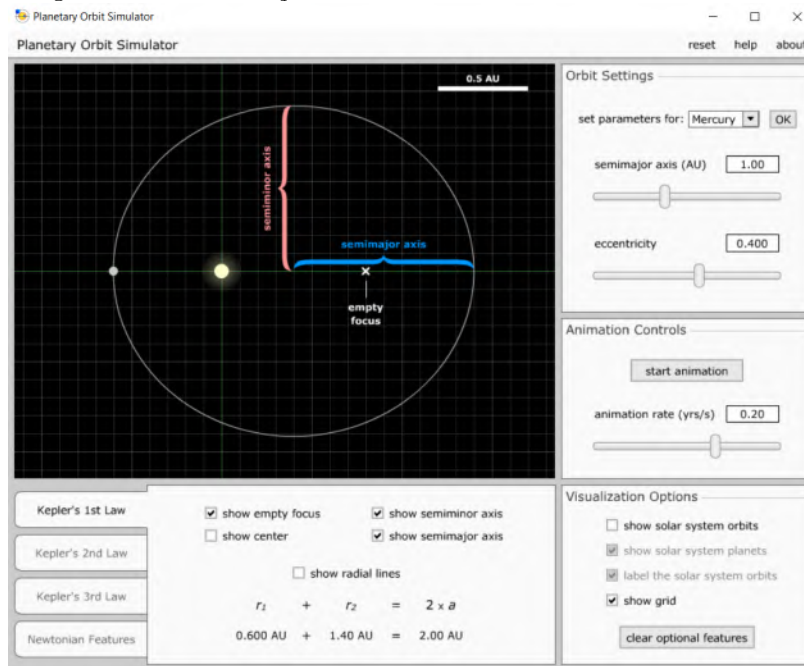
$$\frac{T^2}{R^3} = K \quad (5.1)$$

Deixe claro para o aluno o que representa cada letra da equação. Ou seja, **T** é o período de revolução de orbital de um planeta, **R** é a distância média do planeta ao Sol, e **K** é uma constante de proporcionalidade.

Os alunos completam o entendimento das leis de Kepler observando e praticando o movimento dos planetas. Peça que os alunos se concentrem ao manusear as os recursos e variáveis dos simuladores.

5.3.1 Atividade 01: Simulando a Primeira Lei de Kepler: Lei das Órbitas.

Figura 5.4: Simulação da lei das órbitas do sistema solar.



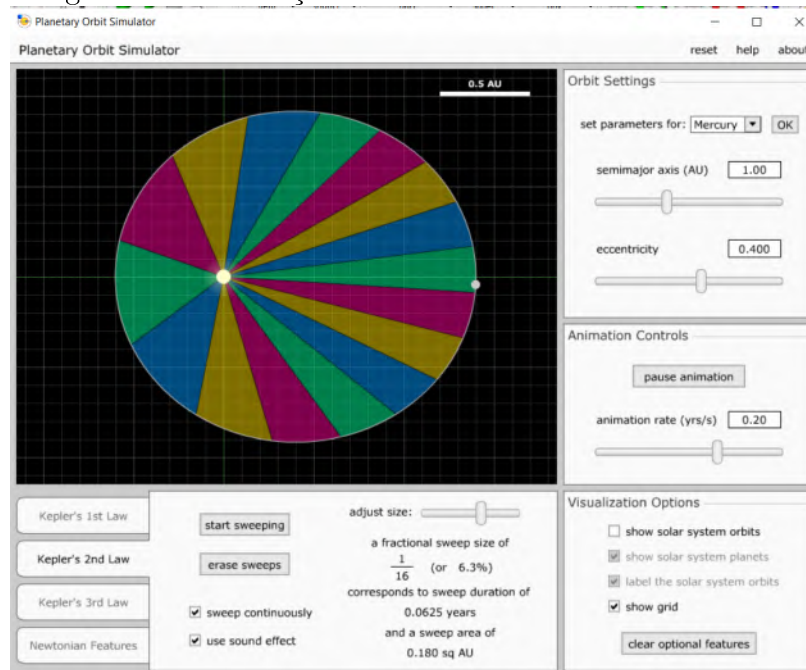
Fonte: NAAP Labs, 2022.

- (a) Oriente os alunos a se dividirem em duplas, entregue a lista de perguntas que eles irão responder.
- (b) Comece simulando a orbita de Mercúrio e peça aos alunos que expliquem: Qual o formato dessa orbita? O que acontece com os eixo maior e o eixo menor ao diminuir ou aumentar a excentricidade da órbita?
- (c) Agora escolha o planeta Vênus e analise o movimento e responda por que Vênus está no centro da órbita circular?
- (d) Qual o comportamento dos planetas que orbitam mais próximos do Sol e os que estão mais distantes?

- (e) Qual comportamento dos planetas em relação a velocidade ao longo de suas órbitas?
- (f) Em que ponto de suas órbitas os planetas viajam mais rápido e mais devagar?

5.3.2 Atividade 02: Simulando a Segunda Lei de Kepler: Lei das Áreas.

Figura 5.5: Simulação da lei das áreas do sistema solar.

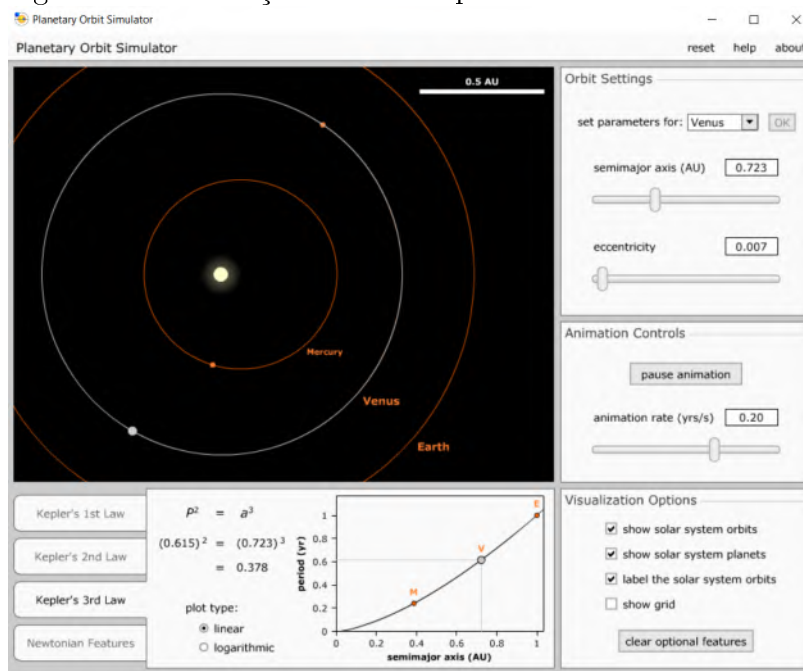


Fonte: NAAP Labs, 2022.

1. (a) Qual o significado físico da segunda lei de Kepler?
- (b) Qual a relação entre a segunda lei de Kepler e a lei da gravitação universal de Newton vista anteriormente?
- (c) Com base nos seus conhecimentos e com a análise da simulação explique porque como as áreas varridas são iguais se seus formatos são diferentes.
- (d) Qual comportamento dos planetas em relação a velocidade ao longo de suas órbitas?
- (e) Em que ponto de suas órbitas os planetas viajam mais rápido e mais devagar?
- (f) A segunda lei de Kepler é válida para uma órbita circular?

5.3.3 Atividade 03: Simulando a Terceira Lei de Kepler: Lei dos Períodos.

Figura 5.6: Simulação da lei dos períodos do sistema solar.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

1. (a) A terceira lei de Kepler pode ser aplicada em outros sistemas planetários?
- (b) Quando aplicamos a terceira lei em outros sistemas, o valor da constante de Kepler muda?
- (c) Qual é o significado da sigla UA?
- (d) Qual é a unidade de medida de distância equivalente à distância média da Terra ao Sol?

Para finalizar esta etapa, peça aos alunos que escrevam cada lei com suas próprias palavras. As leis de Kepler estão resumidas abaixo:

- Primeira lei de Kepler (a lei das órbitas): Todos os planetas se movem em órbitas elípticas, com o Sol em um foco.
- Segunda lei de Kepler (a lei das áreas): Uma linha que liga um planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.

- Terceira lei de Kepler (a lei dos períodos): Um planeta mais distante do Sol tem um caminho mais longo e viaja mais lentamente do que um planeta mais próximo. Ou, matematicamente falando, os quadrados dos períodos orbitais dos planetas são diretamente proporcionais aos cubos dos semi-eixos maiores de sua órbita: $P^2 = a^3$, onde P é o período em anos e a é a distância em unidades astronômicas (au).

5.4 Quarta Etapa: Aplicação

Nesta etapa iremos avaliar se houve aprendizagem significativa e se os alunos conseguiram construir novos conceitos a partir do que eles já sabiam.

- **Atribuição de tempo**

Duas aulas de aproximadamente 50 minutos cada.

- **Objetivos**

- Verificar se a aprendizagem foi alcançada de acordo com os objetivos estabelecidos.
- Classificar os resultados obtidos na avaliação final e no questionário.

- **Sugestão de Atividade**

A avaliação da aprendizagem será realizada através do desenvolvimento de um mapa conceitual somativo no final da aplicação da Sequência Didática para avaliar os objetivos gerais do curso, bem como fornecer ao aluno uma ferramenta valiosa para referência futura.

O mapa conceitual é utilizado em diversos níveis do ensino e aprendizagem. Ao utilizar o mapa conceitual como um processo de avaliação de aprendizagem no ensino de física, o professor pode desenvolver e refinar habilidades de pensamento crítico no aluno por meio da geração de ideias, promovendo relações não lineares entre os conceitos físicos e aspectos físicos do cotidiano ajudando o estudante a visualizar a aplicação da teoria de física à prática do dia a dia.

6 Aplicação da Sequência Didática

Este capítulo descreve a aplicação de um produto educacional em uma escola da rede estadual situada na zona urbana do município de Santa Cruz do Rio Grande do Norte, durante o segundo semestre do ano letivo de 2022. A pesquisa foi conduzida com um grupo de 25 estudantes do 1º ano do Ensino Médio, com idades entre 14 e 16 anos.

A sequência didática foi organizada em quatro etapas, totalizando oito aulas. Na primeira etapa, foi realizado um encontro com a turma, no qual foram explicados os procedimentos das aulas e esclarecidas quaisquer dúvidas. Desde esse momento inicial, observou-se a interação dos estudantes e seu interesse tanto pelo simulador, que oferece uma abordagem menos convencional, quanto pelo conteúdo integrado à nossa sequência didática, pertencente à grade curricular da disciplina de Física.

Nessa sequência didática, apresentamos os conteúdos da Lei da Gravitação Universal de Newton e das Leis de Kepler, estruturados em quatro momentos, os quais foram fundamentados na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Para as atividades desenvolvidas, foi utilizado um simulador computacional, uma ferramenta tecnológica tão presente no cotidiano dos estudantes, com o objetivo de promover uma aprendizagem significativa.

6.1 Primeiro momento da Sequência Didática

No primeiro momento, foram apresentados oito questionamentos iniciais aos estudantes para o levantamento do que eles já sabem acerca do conteúdo da Gravitação.

Logo após responderem o questionário, os estudantes assistiram a dois vídeos denominados “Por que corpos de diferentes pesos caem juntos?” e “Vídeo Por que a Terra não cai no Sol?”, encontrados facilmente no *Youtube*. Os vídeos têm aproximadamente dez minutos de duração cada um e apresentam uma explicação simples e objetiva sobre o movimento dos corpos, assim como o entendimento inicial da Gravidade.

Ao terminar a exibição dos vídeos, foi proposto aos estudantes que destacassem e discutissem quais ideias mais se aproximaram e se distanciaram de

suas respostas. Os estudantes mostraram-se bastante interessados em reavaliar suas respostas, principalmente aqueles que fugiram totalmente do contexto científico. Foi um momento em que os alunos ficaram entusiasmados, especialmente com a questão dois do questionário, na qual todos haviam respondido que corpos mais pesados caem mais rápido que os corpos mais leves. Foi necessário intervir e mostrar-lhes, por meio de uma situação prática. Para tanto, dividiu-se a turma em cinco grupos de quatro alunos, nos quais cada grupo, com a ajuda de uma fita métrica, soltou corpos de diferentes massas da mesma altura, a fim de averiguar o fenômeno físico.

Figura 6.1: Estudantes respondendo ao questionário de verificação dos conhecimentos prévios.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

A Figura 6.1 ilustra os estudantes respondendo ao questionário para a coleta de seus conhecimentos prévios e subsunções.

Para preservar a privacidade dos alunos, optou-se por identificá-los pelo número de chamada. Nesse contexto, os dados são analisados estatisticamente, e o foco reside nas variáveis que permitem determinar se houve progresso na aprendizagem do aluno.

Todas as respostas coletadas foram analisadas tanto qualitativa quanto quantitativamente, com base na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, e estão apresentadas nos gráficos a seguir.

As questões iniciais permitiram identificar a habilidade dos estudantes em relacionar a causa de um evento e sistematizar as informações que adquirem no cotidiano. As respostas dos participantes foram categorizadas em três níveis: baixo, moderado e alto. O nível baixo representa os alunos que responderam nenhuma ou apenas uma questão corretamente. O nível moderado representa os alunos que acertaram metade das perguntas, enquanto o nível alto representa aqueles que responderam todas as perguntas adequadamente.

Figura 6.2: Alunos respondendo a primeira questão do questionário.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

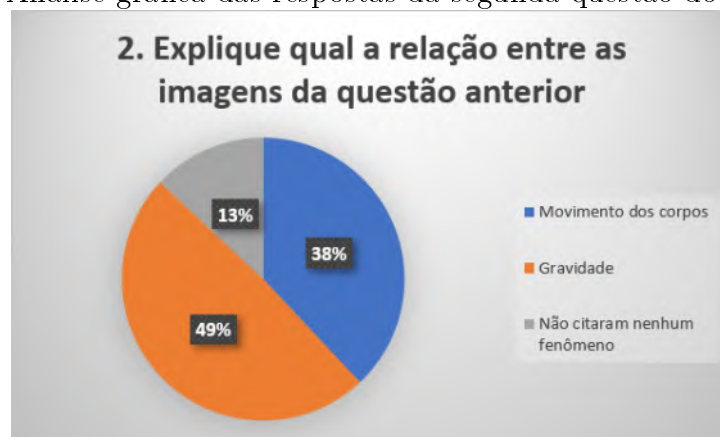
Conforme apresentado na Figura 6.2, os alunos estão respondendo à primeira pergunta do questionário. Observa-se que 22% dos alunos conseguiram relacionar as imagens e os símbolos apresentados com o conteúdo de Física, identificando tais fenômenos em sua vida. Por outro lado, 45% dos estudantes conseguiram apenas associar as imagens ao cotidiano, sem fazer referência aos aspectos físicos. Os outros 33% não conseguiram compreender completamente todas as imagens, limitando-se a descrever cada uma delas sem estabelecer relações nem com conceitos físicos nem com seu dia a dia, o que demonstra

pouco domínio do conteúdo.

De acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, a ancoragem de uma nova informação ocorre por meio de subsunçores, que são ideias, conceitos ou símbolos pré-existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, permitindo a criação de novos significados.

Para esta questão, utilizou-se a linguagem simbólica como meio para a construção do conhecimento. Observamos que todos os alunos conseguiram ativar os conhecimentos prévios para compreender e nomear as imagens, mas apenas alguns foram capazes de relacionar os símbolos com as leis do movimento planetário e o cotidiano.

Figura 6.3: Análise gráfica das respostas da segunda questão do questionário.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Na figura 6.3, observa-se que 38% dos estudantes relacionaram as figuras da questão número um com a ideia intuitiva dos movimentos dos corpos, enquanto 49% conseguiram relacionar com a gravidade. Abaixo, apresenta-se uma das respostas:

“As imagens mostram como os corpos se comportam quando estão sujeitos à ação da gravidade”.

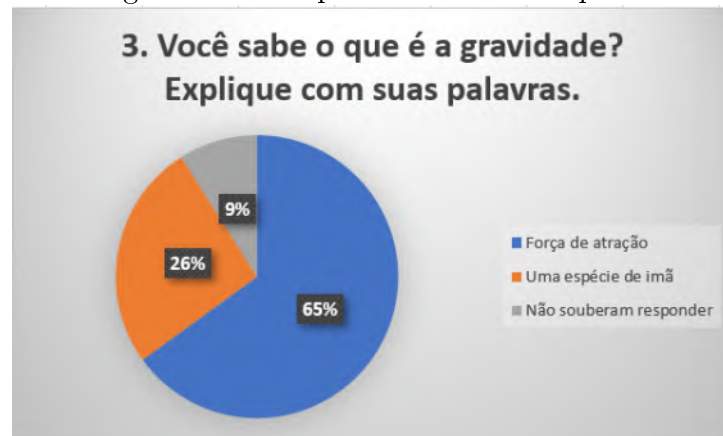
Os 13% restantes dos alunos responderam à questão de forma geral, descrevendo as imagens, porém sem oferecer uma explicação específica para os fenômenos.

Conforme Halliday et al. (2012), um dos mais antigos objetivos da física é compreender a força gravitacional, a qual nos mantém na superfície da Terra, mantém a Lua em órbita em torno da Terra e mantém a Terra em órbita em torno do Sol.

A maioria das respostas analisadas baseou-se, mesmo que de forma simples, nessa ideia física da força gravitacional. Dessa forma, é possível identificar que há

conhecimentos e conceitos prévios nas falas dos estudantes.

Figura 6.4: Análise gráfica das respostas da terceira questão do questionário.

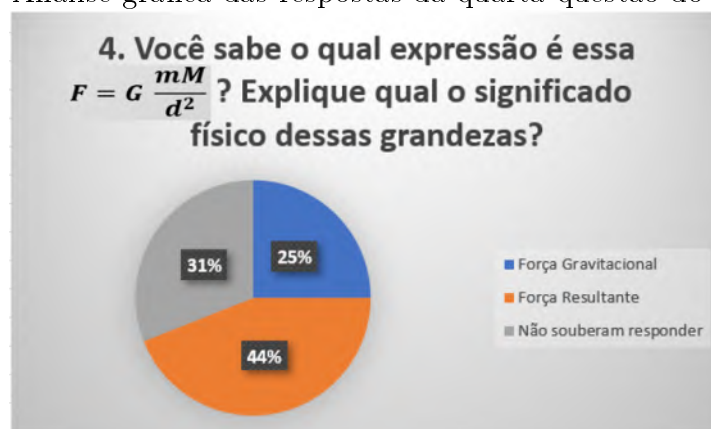


Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Observa-se, na Figura 6.4, que 65% dos alunos, ou seja, a maioria, conseguiram responder corretamente à terceira questão. Eles demonstraram compreensão de que a gravidade é uma força que atua em pares, mencionaram a ausência de força gravitacional no vácuo e destacaram a dificuldade de perceber essa força em nosso meio.

É possível notar, nas respostas dos alunos, uma relação com conceitos científicos abordados por Halliday et al. (2012), os quais descrevem que a força de atração entre corpos com massas pequenas (como duas pessoas, por exemplo) é completamente imperceptível. Portanto, percebe-se que os estudantes possuem conhecimentos prévios sobre o conteúdo.

Figura 6.5: Análise gráfica das respostas da quarta questão do questionário.



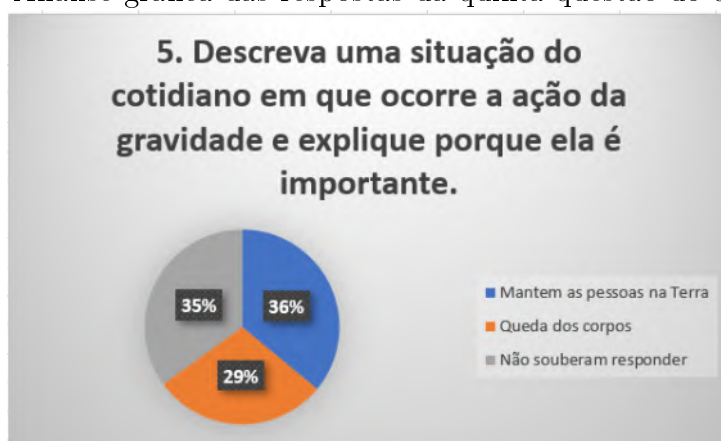
Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Conforme ilustrado na Figura 6.5, apenas 25% dos alunos têm conhecimento

de que a expressão matemática apresentada na quarta questão é utilizada para calcular a força gravitacional, compreendendo o significado de suas grandezas. Por outro lado, 44% dos alunos erroneamente interpretaram como sendo a força resultante, enquanto os restantes 31% afirmaram não estar familiarizados com a fórmula.

Ao estudar a gravidade, é possível compreender melhor o seu funcionamento em uma variedade de situações do cotidiano. Todos os corpos possuem gravidade, incluindo os seres humanos, e quanto maior a quantidade de matéria, maior será a ação da força gravitacional. É importante ressaltar que a presença de outros objetos entre dois corpos não altera a força entre eles, conforme destacado por Halliday et al. (2016).

Figura 6.6: Análise gráfica das respostas da quinta questão do questionário.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Conforme evidenciado na Figura 6.6, nota-se que a maioria dos alunos foi capaz de mencionar alguma situação cotidiana relacionada à gravidade, conforme ilustrado nas respostas a seguir:

"A gravidade faz com que uma bola caia no chão quando jogamos para cima."

"É a gravidade que faz a lua girar em torno da Terra."

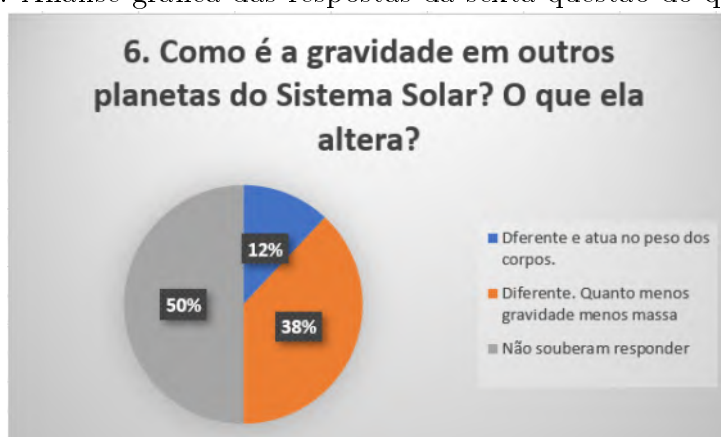
"Quando estamos descendo ou subindo uma ladeira é como se a gravidade estivesse empurrando a gente".

A Figura 6.6 apresenta alguns motivos pelos quais a gravidade é importante. Segundo a pesquisa, 35% dos estudantes afirmaram que a gravidade é crucial para nos manter presos ao chão. Além disso, 29% mencionaram a importância da ação da gravidade no movimento dos corpos, enquanto 36% não conseguiram explicar sua importância.

Ao iniciar o estudo da gravidade, Newton também não compreendia

cientificamente a razão pela qual corpos com massa se atraíam. Conforme relatado por ele, “não designamos ainda a causa desse poder”. Ele expressa dúvidas sobre o fenômeno, sugerindo que tal poder deve provir de uma causa que atua nos centros exatos do sol e dos planetas. (Halliday)

Figura 6.7: Análise gráfica das respostas da sexta questão do questionário.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Na Figura 6.7, nota-se que metade da turma desconhecia o fato de que os planetas e satélites do nosso sistema solar têm gravidades diferentes. Dentre eles, 38% mencionaram que na Lua a massa é menor e apenas 12% tinham conhecimento de que a massa de um corpo é a mesma em qualquer lugar, sendo o peso o parâmetro que varia de acordo com a gravidade.

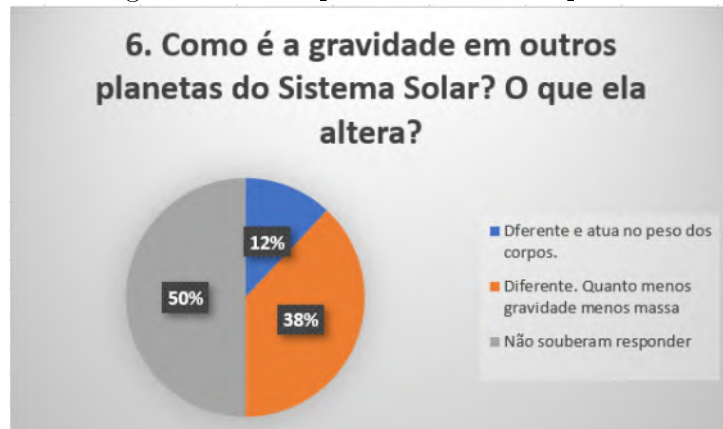
“A força gravitacional na Lua é menor do que na Terra, por isso temos menos peso lá.” (Aluna 1)

“Os astronautas pesam menos na Lua do que na Terra, chegando quase a flutuar.” (Aluno 2)

A última questão do questionário, apresentada na Figura 6.8, destina-se à coleta de conhecimentos prévios e envolve uma aplicação da equação da Lei da Gravitação Universal de Newton. Observou-se que aproximadamente 23% dos estudantes alcançaram a resposta correta, enquanto 58% deles acertaram apenas a direção e o sentido da força, porém com cálculos incorretos, e apenas 19% não conseguiram acertar nada na questão.

Após a aplicação do questionário, verificou-se que os conhecimentos prévios sobre o conteúdo da Teoria da Gravitação Universal estiveram presentes na maioria das respostas dos estudantes em todas as questões. Embora algumas respostas estejam

Figura 6.8: Análise gráfica das respostas da sétima questão do questionário.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

baseadas apenas no senso comum, percebeu-se que eles possuem os subsunçores necessários em suas estruturas cognitivas para este estudo.

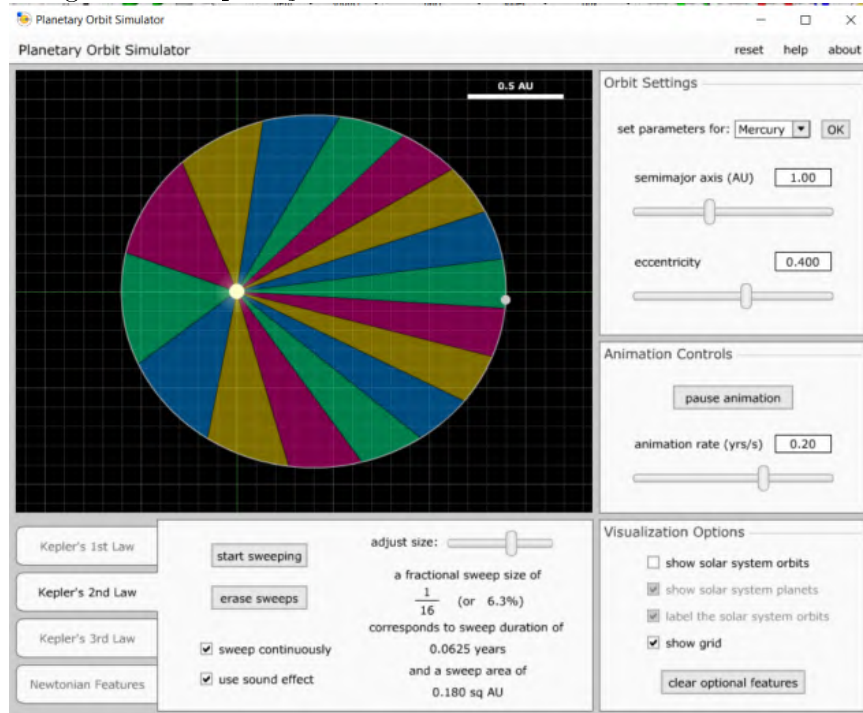
Posteriormente, procedeu-se à explicação das possíveis dúvidas das questões discutidas com os estudantes no início da aplicação do teste. Para uma melhor compreensão, foi exibido um vídeo sobre o movimento da queda livre de Galileu, um físico, matemático, astrônomo e filósofo italiano, que afirmou que objetos de pesos diferentes caem com a mesma velocidade se negligenciarmos a resistência do ar. Logo após, foi apresentado outro vídeo sobre a atração gravitacional que mantém a Terra em órbita ao redor do Sol.

6.2 Segundo momento da Sequência Didática

No segundo momento da sequência didática, o objetivo foi traçar sucintamente a trajetória que levou à formulação da Lei da Gravitação Universal de Newton e discutir os conceitos fundamentais desse tema. Posteriormente, procedeu-se à apresentação do simulador computacional de órbitas planetárias utilizado em nosso produto educacional.

Neste momento, ocorreu a realização de uma atividade com o auxílio de um simulador, conforme demonstrado na Figura 6.9, na qual os estudantes observavam as simulações e formulavam suas respostas. Para a execução da tarefa, foi utilizada a

Figura 6.9: Aplicação do Simulador de Órbitas Planetárias.



Fonte: NAAPs Lab, 2022.

projeção do simulador no quadro, por meio de um projetor de multimídia, enquanto o professor realizava as manipulações computacionais. Contudo, os alunos demonstraram uma participação bastante proveitosa e se envolveram na atividade.

A atividade consistia nas seguintes perguntas relacionadas ao simulador.

Questão 01: O que acontece com no movimento dos planetas quando diminuimos o valor da excentricidade para 0 (zero)?

- *Aluno 1: “Se você começar a diminuir a excentricidade da órbita do planeta você verá que o planeta faz um movimento circular. A Terra se movimenta em um circunferência um pouco achatado, porém temos a impressão que é em um círculo perfeito”.*
- *Aluno 2: “O movimento do planeta fica mais rápido”.*
- *Aluno 3: “De acordo com a primeira lei de Kepler o movimento dos planetas que giram ao redor do Sol não é circular, mas sim achatado com o Sol ocupando um dos*

focos, isso porque os planetas giram com uma certa excentricidade e se diminuirmos essa excentricidade para zero você verá um movimento circular”.

- *Aluno 4: “O movimento dos planetas ficará cada vez mais rápido”.*

É perceptível que os alunos um e três demonstraram compreensão da simulação, evidenciando em suas respostas um conhecimento científico sobre o conteúdo. Eles responderam de maneira consciente, explicando que a excentricidade indica o quanto a órbita de um planeta é "achatada", e destacaram que, caso a excentricidade seja reduzida a zero, a órbita do planeta se tornará uma circunferência. Por outro lado, os alunos dois e quatro apresentaram respostas menos robustas. Eles não observaram a forma da órbita do planeta, concentrando-se na velocidade, e não compreenderam adequadamente a função real da excentricidade dos planetas.

De acordo com Halliday et al. (2012), "uma excentricidade nula corresponde a uma circunferência, na qual os dois focos se reduzem a um único ponto central".

Questão 02: Qual é o efeito que ocorre no movimento dos planetas quando diminuimos o valor da excentricidade?

- *Aluno 1: “A velocidade do movimento parece que ficou a mesma em todos os pontos da trajetória”.*
- *Aluno 2: “Aconteceu uma mudança na velocidade do movimento, por que quando a órbita está mais achatada existe uma mudança na velocidade, mas quando a órbita é circular a velocidade fica constante”.*
- *Aluno 3: “Observei que a velocidade ficou regular em toda a trajetória, ao contrário de quando a órbita é elíptica em que a velocidade varia.”.*
- *Aluno 4: “O movimento ficou constante. Quando a trajetória é circular a velocidade fica constante.”.*

Certamente:

É perceptível que todos os alunos puderam notar que, quando a excentricidade é nula, a órbita se torna circular e o módulo do vetor velocidade permanece constante, ou seja, não varia com o decorrer do tempo.

Questão 03: Quais diferenças podem ser percebidas no movimento dos planetas do nosso sistema planetário?

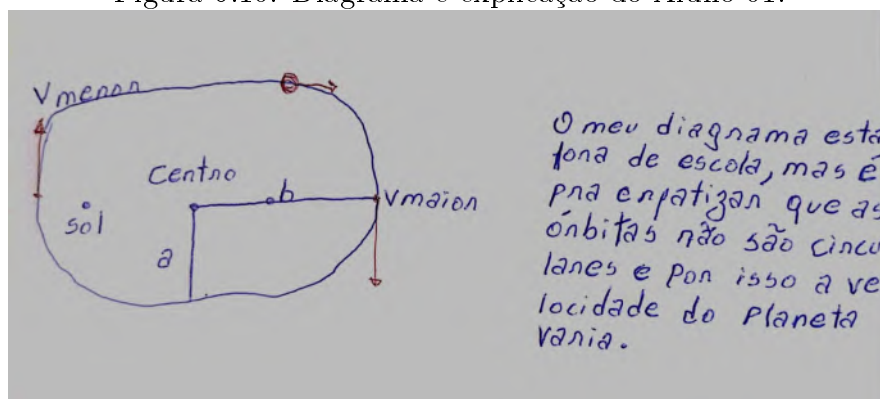
- *Aluno 1: “Os planetas mais próximos do Sol se movem mais rápido, enquanto os planetas mais distantes como se movem mais devagar. A diferença é bem grande, por exemplo, se a gente for comprar enquanto a Terra faz uma órbita completa ao redor do Sol, Mercúrio faz cerca de 4 órbitas e Netuno leva mais de 160 órbitas terrestres antes de completar uma única revolução.”.*
- *Aluno 2: “Mercúrio e Vênus são os planetas que estão mais próximos do Sol do que da Terra, por isso se movem mais rápido. Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno são planetas que estão mais distantes do Sol do que a Terra, por isso se movem mais devagar.”.*
- *Aluno 3: “Vendo a simulação e imagens do sistema solar podemos perceber que os planetas distantes uns dos outros com proporções diferentes e isso quase uma diferença também nas suas velocidades orbitais”.*
- *Aluno 4: “Observei que os planetas que estão mais perto do Sol são pequenos e têm órbitas mais curtas. Já os planetas mais distantes do Sol são maiores e também tem órbitas maiores”.*

Na presente questão, todos os alunos lograram compreender o movimento dos planetas. Mercúrio e Vênus caracterizam-se como os planetas internos, por estarem mais próximos do Sol e orbitarem em velocidades mais elevadas. Por outro lado, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno constituem os planetas externos, estando, assim, mais distantes do Sol e realizando órbitas mais lentas.

Questão 04: Desenhe um diagrama de um dos planetas em movimento. Indique e explique onde a velocidade do planeta é maior e menor.

- *Aluno 01:*

Figura 6.10: Diagrama e explicação do Aluno 01.

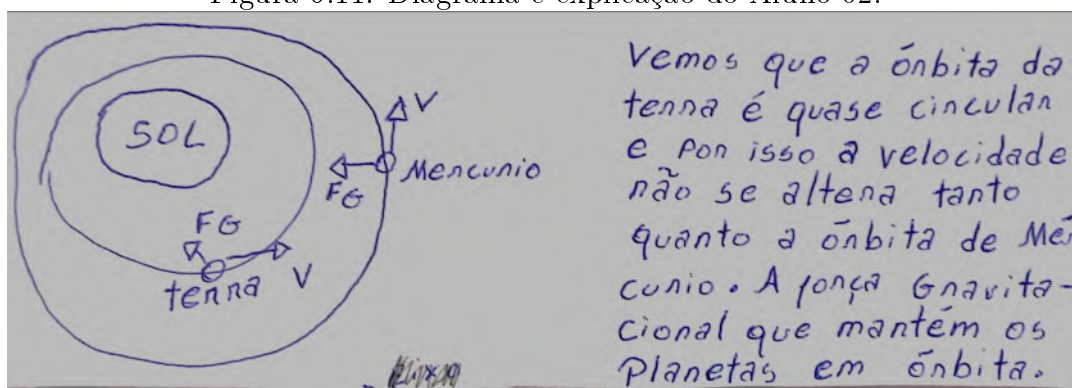


Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

O diagrama do aluno 01, apresentado na Figura 6.10, corresponde ao solicitado na questão 04. Ele optou por representar o diagrama do planeta Terra, destacando os pontos de menor e maior velocidade. Além disso, explicou de forma clara que é a excentricidade da órbita que provoca essa variação na velocidade.

- *Aluno 02:*

Figura 6.11: Diagrama e explicação do Aluno 02.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

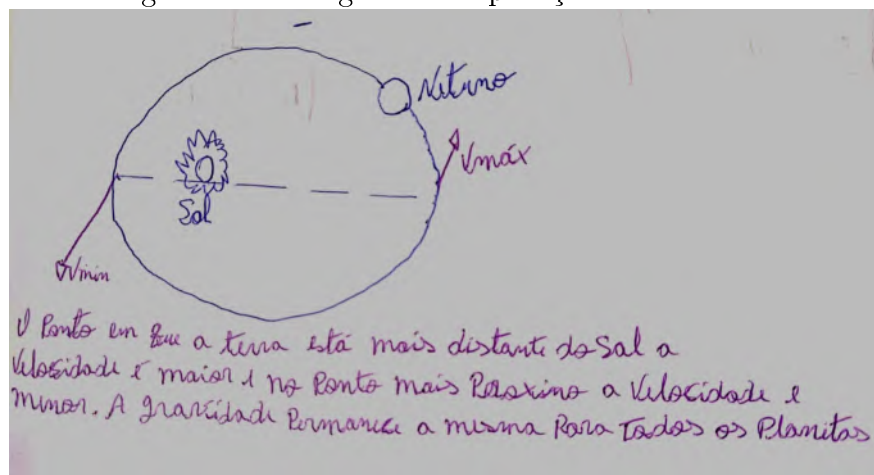
O diagrama do aluno 02, apresentado na Figura 6.11, demonstrou uma aprendizagem significativa ao longo de sua resposta nesta questão. Além de desenhar o diagrama

do planeta Mercúrio, ele conseguiu relacionar a gravidade com a posição do planeta, explicando que a ação da gravidade atrai Mercúrio mais do que qualquer outro planeta.

É importante ressaltar que ele prestou atenção na questão chave desse conteúdo, que é a gravidade, quando frisou que é a força gravitacional que mantém o Mercúrio e todos os outros planetas em órbita ao redor do Sol.

- *Aluno 03:*

Figura 6.12: Diagrama e explicação do Aluno 03.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

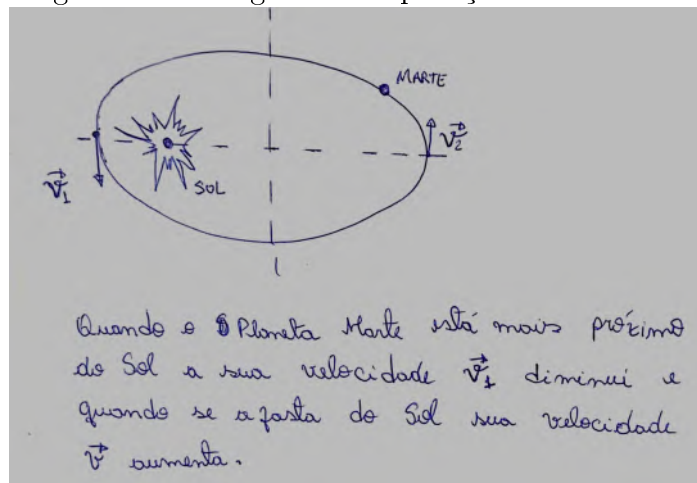
No diagrama apresentado pelo aluno 05, conforme mostrado na Figura 6.12, foram identificados os pontos nos quais o planeta Netuno se desloca com maior e menor velocidade. Entretanto, ao abordar o conceito de gravidade, houve uma imprecisão ao afirmar que a gravidade é uniforme para todos os planetas.

É conhecido que a gravidade opera de forma consistente em todos os corpos celestes e no universo como um todo. Contudo, a intensidade da força gravitacional exercida por um planeta é determinada pela sua massa.

- *Aluno 4:*

Conforme evidenciado na Figura 6.13, constata-se que tanto o diagrama quanto a explicação foram elaborados corretamente, indicando que o Aluno 04 assimilou de forma satisfatória o conteúdo abordado.

Figura 6.13: Diagrama e explicação do Aluno 04.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Destaca-se que o Aluno 04 apresenta uma definição precisa do conceito de gravidade ao explicar que esta é a força responsável por manter os corpos em órbita ao redor do Sol e que sua intensidade varia conforme a massa de cada planeta.

É perceptível que todos os estudantes representaram as órbitas planetárias de forma desproporcional e altamente elíptica. Apesar de terem executado seus desenhos com relativa facilidade, admitiram enfrentar dificuldades ao visualizar o movimento dos planetas no espaço.

Questão 05: Defina com suas palavras a força gravitacional e represente-a matematicamente

- Aluno 1: “A força gravitacional é a força de atração presente em todo o universo. Essa atração é a mesma que entre a terra e a lua e entre uma pessoa e a Terra, o que muda é a intensidade. Matematicamente podemos apresentar a força gravitacional dessa forma $F_G = G \frac{m \cdot M}{d^2}$ ”.
- Aluno 2: “A gravidade é uma força atrativa que pode ser sentida entre corpos que possuem massa. Sua representação matemática é: $F_G = G \frac{m \cdot M}{d^2}$ ”.
- Aluno 3: “De acordo com o que estudamos a força gravitacional é uma força de atração dos corpos. Ela foi descoberta pelo físico Isaac Newton e sua expressão

matemática é $F_G = G \frac{m*M}{d}$ ”.

- *Aluno 4: “É uma força invisível que atrai as coisas para a terra. Por exemplo, se você jogar uma pedra para cima ela volta a cair devido a ação da gravidade. $F_G = G \frac{m*M}{d^2}$ ”.*

Ao analisar as respostas fornecidas para a Questão 05, é evidente que todas elas revelam um entendimento do conteúdo. Os alunos 01, 02 e 04 conseguiram responder adequadamente à pergunta, enquanto o aluno 03 cometeu um equívoco ao abordar a equação matemática; vale ressaltar que a força gravitacional é proporcional ao quadrado da distância.

6.3 Terceiro momento da Sequência Didática

No terceiro momento, os estudantes receberam uma explicação sobre a relação entre as Leis de Kepler e a Lei da Gravitação Universal de Newton. Durante esta aula, foram exibidos três vídeos que abordaram os conceitos das três Leis de Kepler, além do uso do "Simulador de Órbitas Planetárias" para demonstrar as leis do movimento planetário.

Imediatamente após a explicação do conteúdo, os estudantes foram solicitados a responder individualmente aos questionamentos a seguir:

Questão 01: A distância do planeta ao Sol está sempre variando. Explique a lei que prevê a forma da órbita do planeta e explique como traçar essa órbita.

- *Aluno 1: “A Primeira Lei de Kepler diz que a órbita dos planetas ao redor do Sol é uma elipse. Onde o Sol está sempre Sol está em um focos dos e não no centro. Dessa forma, a medida que o planeta gira em torno de sua órbita a distância do planeta ao Sol está mudando constantemente”.*
- *Aluno 2: “Quando um planeta faz uma órbita circular, todas as todos os pontos da trajetória são iguais porque o Sol está no centro. No entanto, a primeira lei de*

Kepler nos diz que os planetas fazem orbitas elípticas com o Sol em um dos focos, nesse caso a distância do planeta do Sol varia de acordo com a excentricidade de sua órbita”.

- *Aluno 3: “De acordo com a primeira lei de Kepler a lei das áreas os planetas descrevem órbitas elíticas em que o Sol ocupa um dos focos da elipse e a distância do planeta ao Sol depende do quanto essa elipse é achatada ou excêntrica ”.*
- *Aluno 4: “Definição: Todos os se movem ao redor do Sol em elipses, estando o Sol em um dos focos. Por causa do formato mais achatado das órbitas em alguns pontos as distâncias do planeta ao Sol pode aumentar ou diminuir.”*

As explicações apresentadas pelos alunos acima abordam corretamente a primeira pergunta da atividade ao explicar que a distância entre um planeta e o Sol varia à medida que o planeta se desloca ao longo de sua órbita. Isso ocorre porque o Sol está deslocado do centro da órbita do planeta e ocupa um dos focos, conforme estabelecido pela Primeira Lei - Lei das Órbitas.

Todos os alunos mencionaram que a órbita é uma elipse e discutiram sua excentricidade. No entanto, nenhum deles conseguiu explicar adequadamente como traçar a órbita ou estabelecer uma relação entre os eixos maior e menor e a excentricidade.

Questão 02: Observe a órbita de Mercúrio e responda qual os valores do eixo maior e do eixo menor quando aumentamos e diminuimos a excentricidade da elipse.

- *Aluno 1: “O segmento de reta que une os vértices de uma elipse é chamado de Eixo Maior e menor diâmetro de uma elipse é o eixo menor.”.*
- *Aluno 2: “O segmento de linha que passa pelos focos da elipse é o eixo maior e o segmento de linha perpendicular ao eixo maior e que passa pelo centro da elipse é o eixo menor.”.*
- *Aluno 3: “O eixo maior é o maior diâmetro da elipse passando pelo centro de uma extremidade à outra, na parte mais larga da elipse. Considerando que o eixo menor é o menor diâmetro da elipse, cruzando o centro na parte mais estreita.”.*

- *Aluno 4: “Os eixos são perpendiculares no centro. Os focos estão sempre no eixo maior, e a soma das distâncias dos focos a qualquer ponto da elipse (a soma constante) é maior que a distância entre os focos.”.*

Com base nas respostas da questão 02, é possível observar que os alunos conseguiram conceituar o eixo maior e o eixo menor de uma elipse, além de descrever a relação entre a excentricidade e o comprimento dos eixos. Isso demonstra que possuem conhecimento sobre o tema.

Ademais, todos os estudantes foram capazes de mencionar, em suas respostas, os tipos de radiação presentes na faixa do espectro eletromagnético.

Questão 03: O planeta se move mais rápido em uma parte de sua órbita e mais devagar em outra parte. Indique a lei que prevê como sua velocidade varia e explique como você pode usá-la para encontrar a faixa de velocidades.

- *Aluno 1: “A segunda lei de Kepler descreve a maneira como a velocidade de um objeto varia ao longo de sua órbita.”.*
- *Aluno 2: “A velocidade orbital de um planeta muda, dependendo de quão longe ele está do Sol. Quanto mais próximo um planeta estiver do Sol, mais forte será a atração gravitacional do Sol sobre ele e mais rápido o planeta se moverá. Quanto mais longe estiver do Sol, mais fraca será a atração gravitacional do Sol e mais lento se moverá em sua órbita. ”.*
- *Aluno 3: “A velocidade de um planeta muda à medida que ele se move ao longo de sua órbita. O planeta acelera quando passa mais próximo do sol e diminui à medida que se afasta do sol.. ”.*
- *Aluno 4: “ Se o planeta muda sua distância do Sol enquanto orbita, então a força da gravidade entre eles deve mudar. Se a força que o Sol exerce sobre o planeta aumenta (à medida que o planeta se aproxima), então a aceleração do planeta deve aumentar, resultando em uma velocidade orbital mais alta e vice-versa.”.*

Nas respostas à questão 03, é perceptível que o objetivo da atividade está sendo alcançado. A maioria dos alunos respondeu ao item de maneira correta, ao afirmar que a segunda lei de Kepler estabelece que um planeta percorre áreas iguais em tempos iguais. Argumentam também que, para manter essa igualdade de áreas, o planeta deve acelerar à medida que se aproxima do Sol e desacelerar à medida que se afasta. Isso indica que os estudantes estão conseguindo diferenciar os conceitos e as características de cada uma das leis de Kepler.

Questão 04: Com base em seus conhecimentos e com o que foi observado na simulação explique como as áreas varridas pela Terra são iguais se seus formatos são diferentes.

- *Aluno 1: “Para que as áreas desses dois setores sejam idênticas, então a segunda lei de Kepler diz que o tempo que a Terra leva para viajar entre o setor rosa e também entre o setor amarelo deve ser o mesmo”.*
- *Aluno 2: “Mesmo o formato sendo diferentes, seus tamanhos são iguais, porque as os planetas percorrem as áreas rosa e amarela em tempos iguais com velocidades diferentes. ”.*
- *Aluno 3: “Segundo a Lei da Área de Kepler: Um vetor de raio que une qualquer planeta ao Sol varre uma área igual em intervalos de tempo iguais. Pela segunda lei, a área varrida é a mesma e, portanto, o tempo é o mesmo, ou seja a área rosa é igual a amarela”.*
- *Aluno 4: “As regiões sombreadas têm áreas iguais. O tempo para percorrer a região rosa é o mesmo que o tempo para percorrer a região amarela. A Terra se move mais rápido quando está mais próxima do Sol”.*

Na questão 04, é possível notar que os alunos responderam corretamente, evidenciando conhecimento sobre a Lei das Áreas. Conforme ilustrado no diagrama, as áreas resultantes quando a Terra está mais próxima do Sol podem ser visualizadas como um triângulo largo, porém curto; enquanto as áreas resultantes quando a Terra está mais distante do Sol podem ser interpretadas como um triângulo estreito, porém longo. Tais

áreas possuem dimensões equivalentes. Isso se deve ao fato de que a Terra se desloca de forma mais lenta na região rosa (mais próxima do Sol) e de forma mais rápida na região amarela (mais distante do Sol).

Questão 05: À medida que o tamanho da órbita de Júpiter aumenta, o que acontece com o seu período? O que diz a terceira Lei de Kepler?

- *Aluno 1: “Kepler descobriu que o tamanho da órbita de um planeta (o semi-eixo maior da elipse) está simplesmente relacionado ao período sideral da órbita. Se o tamanho da órbita (a) é expresso em unidades astronômicas (1 UA é igual à distância média entre a Terra e o Sol) e o período (P) é medido em anos, então a Terceira Lei de Kepler diz:”.*
- *Aluno 2: “A terceira lei de Kepler demonstra como o tempo que um planeta gasta para dar uma volta completa em torno do Sol se relaciona com o raio médio da órbita desse planeta.”.*
- *Aluno 3: “A terceira lei de Kepler diz que o quadrado do período de qualquer planeta é proporcional ao cubo do semieixo maior da órbita?. Isso significa que o tempo necessário para um planeta dar uma volta completa em torno do Sol elevado ao quadrado é diretamente proporcional à medida do raio médio da órbita desse mesmo planeta elevada ao cubo.”.*
- *Aluno 4: “A terceira lei de Kepler diz que a razão entre o quadrado do período e o cubo do raio médio da órbita é uma constante. Então quanto maior o raio da órbita, maior é o período.”.*

Conforme evidenciado anteriormente, percebe-se que as respostas dos alunos acerca da Terceira Lei de Kepler centraram-se principalmente na definição e na apresentação da expressão matemática. Nota-se uma diferença apenas na resposta do Aluno 4, que abordou de forma mais abrangente a questão 05 ao explicar que os quadrados dos períodos orbitais dos planetas estão diretamente relacionados aos cubos dos semi-eixos maiores de suas órbitas. A Terceira Lei de Kepler estabelece que o período necessário para

um planeta completar sua órbita ao redor do Sol aumenta de forma significativa com o aumento do raio de sua órbita.

Questão 06: Em nosso sistema solar, observa-se que o planeta Marte orbita o Sol em 687 dias. Quantas vezes mais distante o Sol está de Marte do que da Terra?

Aluno 1:

Figura 6.14: Resposta do Aluno 1.

$$\frac{T_M^2}{R_M^3} = \frac{T_T^2}{R_T^3}, \text{ onde } \begin{cases} T_T = 1 \text{ A} \\ R_M = 1,5 \text{ AU} \\ R_T = 1 \text{ AU} \end{cases}$$

$$\frac{T_M^2}{1,5^3} = \frac{1^2}{1^3} = \frac{T_M^2}{3,4} = \frac{1}{1} = \frac{T_M^2}{3,4} = 1$$

$$T_M^2 = 1 + 3,4 = T_M^2 = 4,4 = T_M = \sqrt{4,4}$$

$$T_M = 2 \text{ A} = T_M = 2 \cdot 365 \text{ dias} = T_M = 730 \text{ dias}$$

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Aluno 2:

Aluno 3:

Aluno 4:

Essa questão abordada na atividade é subjetiva e envolve os cálculos matemáticos da Lei dos Períodos. Pode-se inferir, a partir das respostas, que todos os alunos conseguiram expressar corretamente a equação matemática, demonstrando terem compreendido o que estabelece a Terceira Lei de Kepler. Entretanto, em relação ao desenvolvimento do cálculo, nota-se que enfrentaram mais dificuldades, apresentando erros ou respostas incompletas nesta parte. Apenas o Aluno 3 obteve o resultado correto.

Figura 6.15: Resposta do Aluno 2.

Resposta 6

$$T_M = ?$$

$$R_M = 1,5 \text{ AU}$$

$$T_T = 365 \text{ dias}$$

$$R_T = 1 \text{ AU}$$

$$\frac{T_M^2}{R_M^3} = \frac{T_T^2}{R_T^3}$$

$$\frac{T_M^2}{1,5^3} = \frac{365^2}{1^3}$$

$$\frac{T_M^2}{3,4} = 1095$$

$$T_M^2 = 1095 \cdot 3,4$$

$$T_M^2 = 3723$$

$$T_M = \sqrt{3723}$$

$$T_M = 61$$

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Figura 6.16: Resposta do Aluno 3.

⑥ Mantendo $t_m =$
 $R_m = 1,5 \text{ AU}$

terceira: $T_T = 365 \text{ d} = 1 \text{ A}$
 $R_T = 1 \text{ AU}$

3ª Lei de Kepler: $\frac{T^2}{R^3} = k$

$$\frac{T_m^2}{R_m^3} = \frac{T_T^2}{R_T^3} \rightarrow \frac{t_m^2}{1,5^3} = \frac{1^2}{1^3} \rightarrow \frac{t_m^2}{3,375} = 1$$

$$\frac{t_m^2}{3,375} = 1 \rightarrow t_m^2 = 3,4 \rightarrow t_m = \sqrt{3,4}$$

$$t_m \approx 1,84 \text{ Anos}$$

1 Ano — 365 dias $x = 365 \cdot 1,84$
 1,84 Anos — x $x = 672 \text{ dias}$

$$t_m \approx 1,84 \text{ A} = 672 \text{ dias}$$

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

6.4 Quarto momento da Sequência Didática

No quarto momento, ocorre a avaliação final do curso, na qual os alunos elaboram um mapa conceitual contendo todos os conceitos estudados durante a aplicação da Sequência Didática sobre a Lei da Gravitação Universal de Newton e as leis de Kepler. O objetivo é estabelecer uma relação entre os conceitos aprendidos durante as aulas.

Figura 6.17: Resposta do Aluno 4.

$$\frac{T_M^2}{R_M^3} = K \quad \frac{T_M^2}{R_M^3} = \frac{T_T^2}{T_T^3}$$

$$\frac{T_M^2}{7,5^3} = \frac{1^2}{1^3}$$

$$T_M^2 = 4,5$$

$$T_M = \sqrt{4,5}$$

$$T_M \approx 2,2 \text{ ANOS}$$

$T_M =$
 $R_M = 7,5 \text{ AU}$
 $T_T = 1 \text{ A}$
 $R_T = 1 \text{ AU}$

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Segundo Novak (1984), os critérios de pontuação atribuídos pelo professor visam avaliar se as proposições estão claramente apresentadas, se os conceitos são desenvolvidos de forma hierárquica e as ramificações. Com o intuito de analisar os indícios de uma aprendizagem significativa, foi estabelecido um sistema de pontuação para os mapas conceituais, conforme apresentado na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Quadro de análise do sistema de pontuação dos mapas conceituais.

CRITÉRIOS	PONTOS AVALIADOS	PONTUAÇÃO
Proposições	Existe relação na forma como os conceitos e ideias são apresentados no mapa?	2 ponto para cada proposição válida
Hierarquia	O mapa está organizado hierarquicamente?	5 pontos para cada nível hierárquico válido
Ligações Cruzadas	Os conceitos dentro destes diferentes domínios estão interligados significativamente?	10 pontos para cada ligação significativa e válida

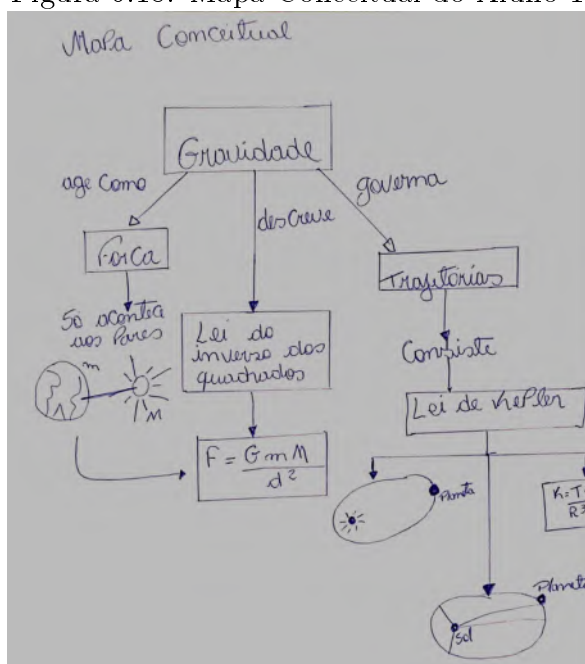
Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Os mapas conceituais foram analisados a seguir, para que seja possível a identificação da evolução conceitual.

Na Figura 6.18, é perceptível a hierarquização e as ligações cruzadas neste mapa conceitual, quando o Aluno 1 organizou os conceitos desde os mais gerais até os mais específicos, demonstrando também a expansão desses conceitos.

Quanto aos elementos de conexão arbitrária, é evidente em uma representação

Figura 6.18: Mapa Conceitual do Aluno 1.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

esquemática da órbita da Terra ao redor do Sol, onde o aluno incluiu a equação matemática da força gravitacional.

A diferenciação progressiva ocorre na evolução dos conceitos, visto que o aluno conseguiu mencionar as Leis de Kepler e, em seguida, relacioná-las progressivamente, diferenciando os conceitos e especificidades de cada lei, sempre partindo do mais geral para o mais específico.

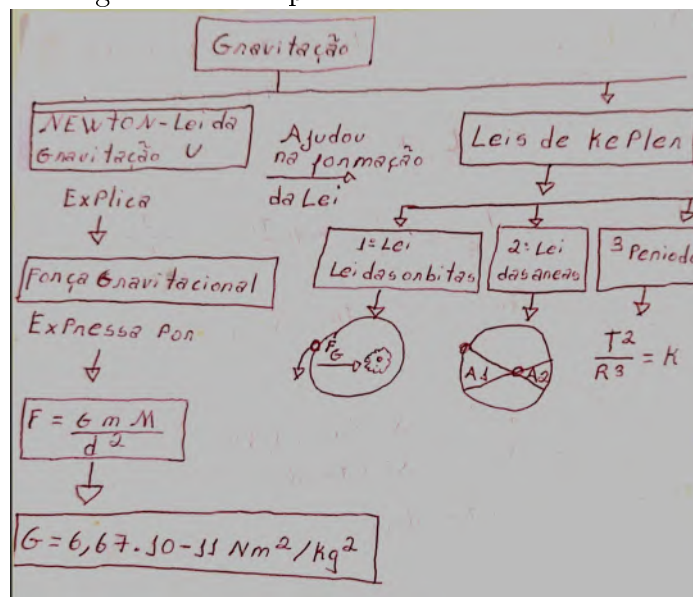
Na Figura 6.19, observa-se que o Aluno 2 enfrentou algumas dificuldades com proposições e verbos de ligação. No entanto, organizou o mapa de forma hierárquica de maneira correta, partindo de um conceito mais genérico para um mais específico.

No que diz respeito às ligações cruzadas, o mapa possui quatro ramificações, evidenciando que o Aluno 2 compreendeu os conceitos relacionados ao conteúdo abordado. Além disso, os conceitos mais abrangentes parecem ter sido progressivamente diferenciados à medida que novos conceitos foram assimilados.

A diferenciação progressiva ocorre quando, após estruturar os conceitos de Gravidade e Leis de Kepler, o Aluno 2 introduz outros conceitos adicionais, como queda livre, demonstrando seu senso crítico.

O elemento de conexão arbitrária não está presente neste mapa, o que indica

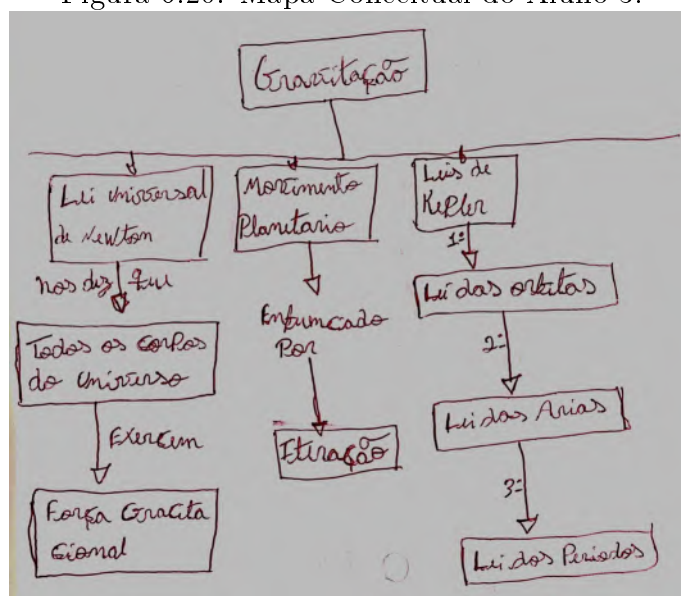
Figura 6.19: Mapa Conceitual do Aluno 2.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

um desenvolvimento e amadurecimento conceitual em relação ao conteúdo abordado.

Figura 6.20: Mapa Conceitual do Aluno 3.



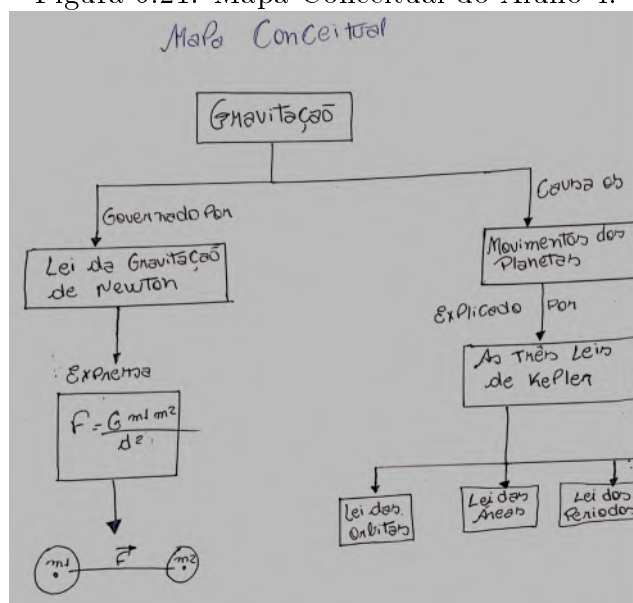
Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

O mapa conceitual apresentado na Figura 6.20 foi elaborado com proposições claras e termos de ligação que possibilitaram a relação e definição dos conceitos apresentados. Por exemplo, na parte superior do mapa do Aluno 3, foram utilizadas as proposições “órbita”, “elíptica” e “circular”, relacionadas pelo termo de ligação "geometria".

Observa-se uma hierarquia na organização dos conceitos mapeados. O conteúdo foi estruturado a partir de um conceito mais abrangente para um mais específico.

As conexões cruzadas do mapa foram agrupadas em dois ramos principais, quando a aluna 10 dividiu sua ramificação na classificação das leis, conteúdo trabalhado antes da aplicação do produto, e um ramo central que conceitua os tipos de órbitas presentes em suas ramificações.

Figura 6.21: Mapa Conceitual do Aluno 4.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Observa-se na Figura 6.21 que o mapa conceitual do Aluno 4 apresenta uma organização hierárquica, em que o aluno parte de um conceito mais geral e o especifica ao longo do mapa.

As ligações cruzadas estão presentes no mapa por meio dos tipos de radiação que se originam de um conceito mais amplo, que é o de onda eletromagnética, e que se desdobram em exemplos mais específicos de aplicação.

As conexões arbitrárias não estão presentes, o que demonstra um melhor entendimento das relações entre os conceitos.

De maneira geral, pode-se observar, conforme os quadros a seguir, os resultados da evolução dos mapas conceituais:

Aluno 1:

Tabela 6.2: Quadro de análise de pontuação do mapa conceitual do Aluno 1.

CRITÉRIOS	PONTOS AVALIADOS	PONTUAÇÃO
Proposições	Existe relação na forma como os conceitos e ideias são apresentados no mapa?	14 pontos
Hierarquia	O mapa está organizado hierarquicamente?	30 pontos
Ligações Cruzadas	Os conceitos dentro destes diferentes domínios estão interligados significativamente?	50 pontos

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Aluno 2:

Tabela 6.3: Quadro de análise de pontuação do mapa conceitual do Aluno 2.

CRITÉRIOS	PONTOS AVALIADOS	PONTUAÇÃO
Proposições	Existe relação na forma como os conceitos e ideias são apresentados no mapa?	10 pontos
Hierarquia	O mapa está organizado hierarquicamente?	25 pontos
Ligações Cruzadas	Os conceitos dentro destes diferentes domínios estão interligados significativamente?	40 pontos

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Aluno 3:

Tabela 6.4: Quadro de análise de pontuação do mapa conceitual do Aluno 3.

CRITÉRIOS	PONTOS AVALIADOS	PONTUAÇÃO
Proposições	Existe relação na forma como os conceitos e ideias são apresentados no mapa?	8 pontos
Hierarquia	O mapa está organizado hierarquicamente?	15 pontos
Ligações Cruzadas	Os conceitos dentro destes diferentes domínios estão interligados significativamente?	40 pontos

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Aluno 4:

Tabela 6.5: Quadro de análise de pontuação do mapa conceitual do Aluno 4.

CRITÉRIOS	PONTOS AVALIADOS	PONTUAÇÃO
Proposições	Existe relação na forma como os conceitos e ideias são apresentados no mapa?	10 pontos
Hierarquia	O mapa está organizado hierarquicamente?	25 pontos
Ligações Cruzadas	Os conceitos dentro destes diferentes domínios estão interligados significativamente?	50 pontos

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Com base na análise dos mapas conceituais e na evolução conceitual dos alunos ao longo da Sequência Didática, foi possível observar que as atividades envolveram os alunos de maneira eficaz. Quando os alunos se conectam com o conhecimento prévio, isso auxilia na formação de conexões neurais e no armazenamento de memória de longo prazo.

Portanto, verificou-se um crescimento satisfatório nos níveis de categorização dos conceitos, uma vez que os alunos direcionaram sua atenção e se engajaram na construção de novas ideias, apresentando indícios de aprendizagem significativa.

7 Considerações Finais

A utilização de simuladores computacionais pode contribuir para a visualização dos fenômenos e modelos físicos, representando uma ferramenta que oferece uma dimensão além da mera transposição de conceitos, tornando-se um facilitador na elaboração das aulas e na aprendizagem dos estudantes.

Ao utilizar uma simulação, é importante desenvolver e utilizar objetivos claros, pois isso auxiliará no aumento do desempenho dos alunos em sua sala de aula. Dessa forma, adotou-se uma abordagem investigativa para otimizar o aprendizado e melhorar as habilidades de compreensão e resolução de problemas. Além dos alunos, essa abordagem também pode proporcionar experiência para os docentes no desenvolvimento de materiais didáticos e no aprimoramento de suas habilidades de ensino.

Com base nessa premissa, a pesquisa foi desenvolvida com a elaboração e aplicação de uma Sequência Didática que permitiu aos estudantes visualizar situações semelhantes ao movimento real dos planetas. A simulação também permitiu aos estudantes testar outras situações com diferentes valores de projeções do semieixo maior e menor, da excentricidade, entre outros fatores.

O objetivo foi fornecer uma proposta didática alternativa sobre a Gravidade e as leis de Kepler, utilizando como estratégia didática o uso de um simulador em atividades práticas que foram desenvolvidas com uma abordagem de aprendizagem significativa.

Quanto aos resultados obtidos com a construção, aplicação e análise da sequência didática, observou-se que, ao longo das atividades, foi possível verificar indícios de aprendizagem significativa sobre o conteúdo proposto. Os estudantes conseguiram demonstrar aplicações no cotidiano relacionando o movimento dos corpos com o movimento da Terra ao redor do Sol. Além disso, os alunos conseguiram reconhecer conceitos e integrar novas informações em contexto com as antigas.

Sendo assim, o produto educacional apresentado atendeu às expectativas e possui um grande potencial de apoio aos professores que desejem utilizar uma metodologia diferenciada sobre o conteúdo da Lei de Gravitação Universal de Newton e as Leis de Kepler do movimento planetário.

8 Referências Bibliográficas

- COELHO, Rafael Otto. **O uso da informática no ensino de física de nível médio**. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2002.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALTER. **Fundamentos da Física - Mecânica**. tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: Ed. LTC, vol. 2, 2012.
- MORREIRA, M. A.; MASINI, E. A. F. S. **Aprendizagem Significativa: A teoria de David Ausubel**. São Paulo, 1982.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. Ed. EPU, São Paulo, 1999.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente**. Instituto de Física -UFRGS, vol. 1, 2011.
- MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. Revista Brasileira de Ensino de Física [online], v. 43, n. Suppl 1, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451>>. Acesso em: 05 fev. 2022.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa, Campos Conceituais E Pedagogia Da Autonomia: Implicações Para O Ensino**. Instituto de Física - UFRGS, vol. 1, 2012.
- MOREIRA, M. A.; NELSON, P. C. S.; SOUZA, J. V. **O que é afinal aprendizagem significativa?**. Instituto de Física - UFRGS, vol. 1, 2012.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos epistemológicos da utilização das tecnologias da informação e comunicação no ensino de Física: Análise na perspectiva Ausubeliana**. Instituto de Física - UFRGS, vol. 1, 2012.
- NAAP, *Nebraska Astronomy Applet Project*. *Nebraska Astronomy*. Disponível em: <<https://astro.unl.edu/nativeapps/>>. Acesso em: 27 abril 2022.
- NETTO, M. L. G. ; FREITAS, F. S. *A poluição sonora e o ensino de física*. Revista Brasileira Ensino Física, vol. 1, 2021.
- NOVAK, J. V.; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. tradução de Carla Valadares. *New York: Cambridge University Press*, 1984.
- NOVAK, J. V.; CAÑAS, A. J. *The Theory Underlying Concept Maps and How to*

Construct Them. Disponível em: <<http://cmap.ihmc.us/publications/researchpapers/theorycmaps/TheoryUnderlyingConceptMaps.bck-11-01-06.htm>> Acesso em: 04 outubro 2022.

OLIVEIRA, T. E.; Araujo, I. S.; Veit, E. A. **Sala de aula invertida (flipped classroom): inovando as aulas de física.** Revista Física na Escola, vol 1, 2011.

OLIVEIRA, M. M.; FROTA, P. R. O.; MARTINS, M. C. Martins. **A Teoria Da Aprendizagem Significativa De Ausubel E Os Mapas Conceituais De Novak Na Formacao De Professores Pedagogos.** Colóquio Internacional de Educação, vol. 1, 2011.

PELIZZARI, A.; KRIEGIL, M. L.; BARON, M. P.; FINK, L.; DOROCINSKI, S. I. **Aprendizagem significativa uma breve discussão acerca do conceito.** Rev. PEC, vol. 2, 2002.

RODRIGUES, L. P.; MOURA, L. S.; TESTA, E. **O tradicional e o moderno quanto a didática do ensino superior.** Rev. Científica do ITPAC, Araguaína, vol. 4, 2011.

SYAMON, K. R. **Mecânica.** Tradução de Gilson Brand Batista. Rio de Janeiro: Campus, 1982.

TAVARES, R. **Construindo mapas conceituais.** Ciência e cognição. [online]. 2007, vol.12, pp. 72-85. ISSN 1806-5821.

VALENTE, J. A. **Diferentes usos do computador.** Rev. Educação Publica, 2002.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar.** Tradução Ernani F.da F. Rosa, Porto Alegre: Artmed, 1998.

A Apêndices

A.1 Produto Educacional

Este apêndice contém o texto referente ao produto educacional, na íntegra. De forma que ele se faz suficiente para um professor que tenha o interesse em utilizar a proposta didática, bem como o simulador computacional, tenha esse material iniciado a partir da próxima página como material necessário, sem haver obrigatoriedade em ler a dissertação que a originou.



INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
DIRETORIA ACADÊMICA DE CIÊNCIAS
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Produto Educacional

UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA GRAVITAÇÃO BASEADA EM SIMULADORES COMPUTACIONAIS

Maria Adna Sena da Silva

Natal
Maio de 2023

Lista de Figuras

2.1	Tela inicial do NAAP Labs.	6
2.2	Tela inicial do Planetary Orbits.	7
2.3	Interface do Planetary Orbits Simulator.	7
2.4	Menu de configurações das órbitas.	8
2.5	Menu de Controle da Animação.	9
2.6	Menu de Controle da Animação.	10
2.7	Menu da primeira lei de Kepler.	10
2.8	Menu da 2 ^o lei de Kepler.	11
2.9	Menu da 3 ^o lei de Kepler.	11
2.10	Menu da lei da gravitação de Newton.	12
3.1	Simulação da Lei da Gravitação Universal de Newton.	22
3.2	Primeira Lei de Kepler.	26
3.3	Segunda Lei de Kepler.	27
3.4	Simulação da lei das órbitas do sistema solar.	28
3.5	Simulação da lei das áreas do sistema solar.	29
3.6	Simulação da lei dos períodos do sistema solar.	30

Lista de Tabelas

3.1	Quadro de descritivo das etapas da Sequência Didática.	14
-----	--	----

Sumário

Lista de Figuras	1
Lista de Tabelas	2
1 Apresentação	4
2 Planetary Orbit Simulator	6
2.1 Funcionalidades do Simulador	8
3 Proposta de Sequência Didática	13
3.1 Primeira Etapa: Resgatando os conhecimentos prévios	14
3.2 Segunda Etapa: A gravidade	18
3.2.1 Atividade 01: Velocidade orbital dos planetas ao redor do Sol.	21
3.3 Terceira Etapa: As leis de Kepler	23
3.3.1 Atividade 01: Simulando a Primeira Lei de Kepler: Lei das Órbitas.	27
3.3.2 Atividade 02: Simulando a Segunda Lei de Kepler: Lei das Áreas.	28
3.3.3 Atividade 03: Simulando a Terceira Lei de Kepler: Lei dos Períodos.	29
3.4 Quarta Etapa: Aplicação	30

1 Apresentação

Com os desafios contínuos no processo de ensino e aprendizagem enfrentados por muitos professores em sala de aula surge a necessidade de criar novas propostas de ensino, ideias e recursos que sirvam de apoio aos educadores para elaboração de aulas que despertem a curiosidade e imaginação dos estudantes.

A maioria dos estudantes estão frequentemente envolvidos com as diferentes tecnologias de comunicação e mídias sociais. Todas essas tecnologias oferecem uma oportunidade para melhorar e desenvolver metodologias de aprendizagens inovadoras. Em um caso particular, tratando-se da teoria envolvida na gravitação e nas leis de Kepler, ensinar os alunos utilizando apenas o livro didático pode se tornar algo enfadonho, pois o aluno talvez visualize somente imagens/equações e não consiga enxergar o movimento dos corpos como acontece na maioria dos casos, o que pode afastar o aluno da perspectiva investigativa que a ciência pode proporcionar. Em virtude da importância do tema para o aprendizado dos alunos, pois podem ser observadas situações no cotidiano da aplicação desse conteúdo, tais como uma simples queda de um objeto até a força que mantém a Lua orbitando à Terra, faz-se necessário que o professor abra seu leque de possibilidades de ferramentas de ensino, com o objetivo de que o aluno consiga compreender além dos conteúdos conceituais também tenha a oportunidade de visualizar de forma interativa diversas situações que surgem a partir da aplicação de leis da Física.

A partir desses elementos, o produto educacional elaborado nesse trabalho de mestrado é uma proposta de sequência didática que visa ser uma ferramenta adicional de apoio para o professor com o propósito de ensinar o movimento dos corpos celestes e a gravidade utilizando o simulador computacional Planetary Orbits da Naap Labs, disponível na plataforma online da Native Apps. Seu download pode ser feito no site <https://astro.unl.edu/nativeapps/> de acordo com sistema operacional do usuário. A sequência didática é um conjunto de orientações e sugestões de atividades, utilizando diferentes ferramentas pedagógicas como o objetivo de criar mais um recurso de apoio didática que possibilite novas estratégias para o ensino de Física.

Além disso ela pode ser desenvolvido tanto na grade curricular convencional

quanto em um curso extracurricular para alunos do 1º ano do ensino médio. Este material foi dividido em duas partes: na primeira parte encontraremos uma breve apresentação da Native Apps, bem como um guia de instruções dos recursos dos simuladores traduzido para o português. Na segunda parte, teremos a elaboração da proposta de sequência didática, orientando detalhadamente cada atividade.

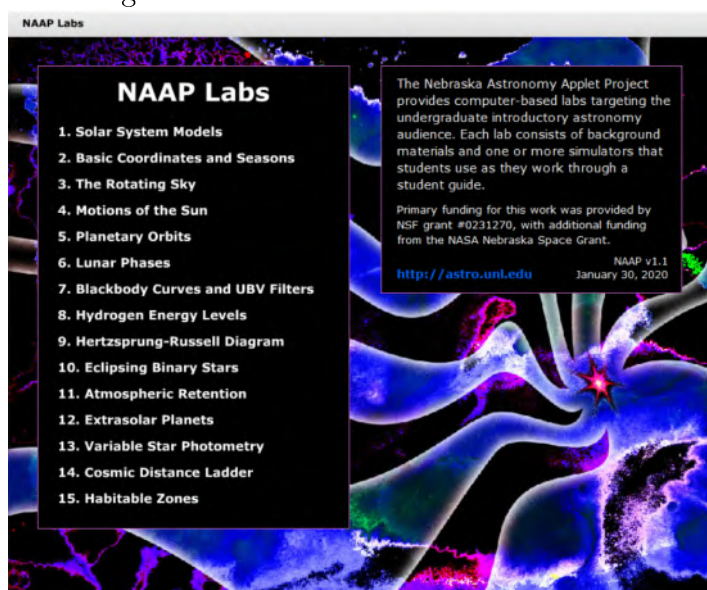
2 Planetary Orbit Simulator

O Planetary Orbit Simulator é um *software* de simulações que modela o movimento dos planetas do nosso sistema solar de acordo com as leis do movimento planetário de Kepler e com a lei da Gravitação Universal de Newton, que está incluído no Nebraska Astronomy Applet Project (NAAP) um laboratório virtual com demonstrações que permitem discutir questões relacionadas aos aspectos teóricos da Física, principalmente da astronomia, voltados para o público de nível médio e de graduação.

Para utilizar o simulador, o professor (ou aluno) deve, primeiramente, fazer o *download* do pacote apropriado para seu sistema de computador. Esses são *softwares* executados em seu sistema operacional nativo e sua longevidade depende apenas do seu sistema operacional. O aplicativo poderá ser executado em *Windows* (64 bits e 32 bits) e em computadores *Macintosh* (64 bits).

O guia e informações para *download* pode ser adquirido gratuitamente na plataforma da Native Apps por meio do *site* <https://astro.unl.edu/nativeapps/>. O simulador está disponível apenas no idioma da língua inglesa, porém pode ser facilmente traduzido por meio do *google* tradutor.

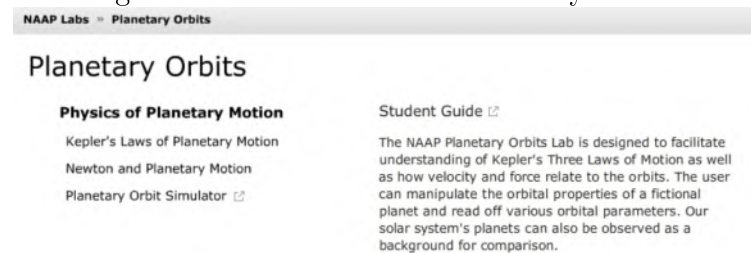
Figura 2.1: Tela inicial do NAAP Labs.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

A figura 4.1 mostra a primeira visão que temos do aplicativo da NAAP labs após ter concluído a instalação em seu computador. Esse aplicativo é muito útil, pois além de mostrar as simulações físicas, apresenta uma breve explicação do conteúdo e algumas sugestões de atividades.

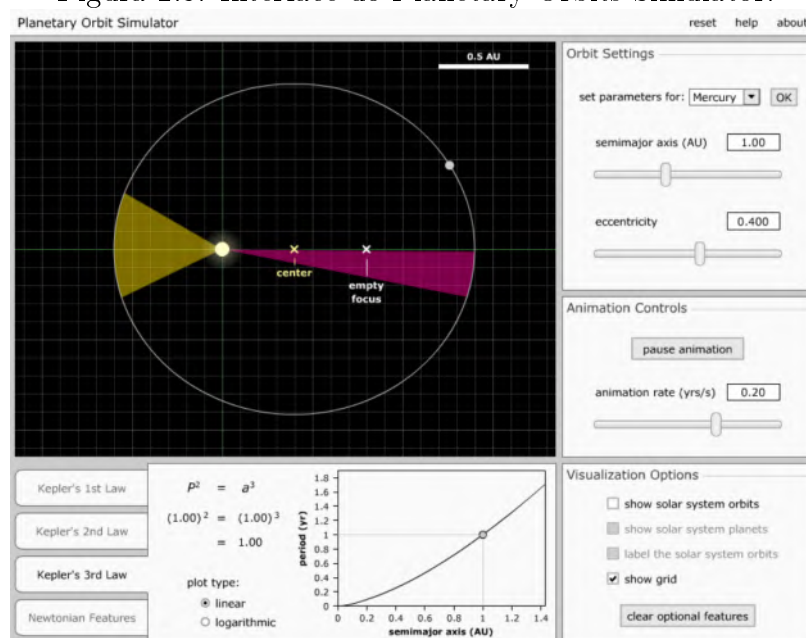
Figura 2.2: Tela inicial do Planetary Orbits.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

Ao clicar no item 5 da figura 4.1 (5. Planetary Orbits), será encaminhado até interface da NAAP Labs. Na figura 4.2 podemos ver a tela inicial do *software* onde teremos uma introdução as Leis do movimento de Kepler e a lei da Gravitação de Newton, bem como o simulador do movimento planetário.

Figura 2.3: Interface do Planetary Orbits Simulator.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

Quando é clicado no nome Planetary Orbits Simulator aparece a tela inicial do simulador com as principais barras de ferramentas, conforme a figura 4.3. Este simulador

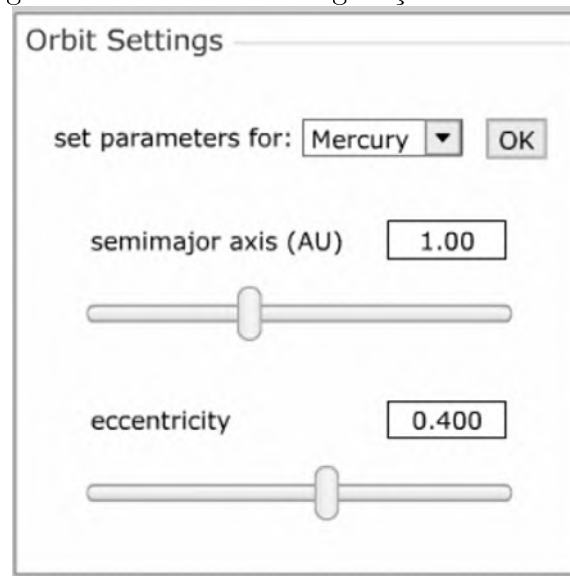
ilustra a física das órbitas planetárias. São demonstrados cada uma das três leis de Kepler e os aspectos da lei de Newton. O aluno pode controlar o tamanho e a excentricidade da órbita, visualizar vetores de velocidade e aceleração, os eixos da órbita, entre outras coisas.

Como vimos o simulador Planetary Orbits tem um *layout* intuitivo e a interface bem direta e fácil de manipular.

2.1 Funcionalidades do Simulador

Este tópico tem por finalidade ajudar professores e alunos na familiarização das funcionalidades e ferramentas do Simulador de Órbitas Planetárias e mostrar de forma clara e direta como manipular as principais variáveis que serão utilizadas posteriormente em nossa proposta de ensino. Contudo, vale ressaltar que os procedimentos apresentados não são os únicos, os professores e alunos podem explorar ainda mais os recursos caso haja necessidade.

Figura 2.4: Menu de configurações das órbitas.



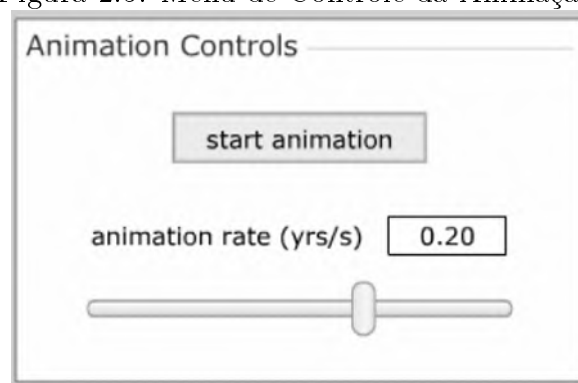
Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Menu de configurações das órbitas, figura 4.4.
 - Esse recurso oferece um parâmetro na qual o aluno pode escolher em qual dos

oito planetas (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Netuno incluindo o Plutão) irá fazer a simulação da trajetória orbital.

- Semimajor axis (AU): Você pode ajustar o semieixo maior da elipse deslizando a barrinha. Com essa opção você poderá visualizar que o eixo maior é a distância do centro a qualquer um dos focos. Ele é medido em Unidade Astronômica (AU) e varia de 0.1AU até 50.0 AU.
- Excentricity: A excentricidade da órbita também pode ser alterada e com isso você pode ver o desvio da órbita dos planetas a partir de uma órbita circular. A excentricidade varia de 0 para uma órbita circular a 1 em uma órbita altamente elíptica.

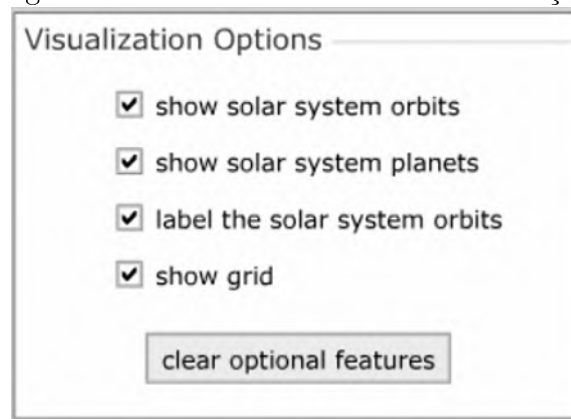
Figura 2.5: Menu de Controle da Animação.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Menu de Controle da Animação, figura 4.5.
 - Você pode iniciar a animação.
 - Você pode ajustar a escala temporal em anos por segundo - basta arrastar a barrinha para esquerda ou para direita - fazendo isso você pode observar que a velocidade com que os planetas fazem suas trajetórias poderá ser modificada.
- Menu de visualização das órbitas, figura 4.6.
 - As órbitas do sistema solar.
 - Os planetas do sistema solar.

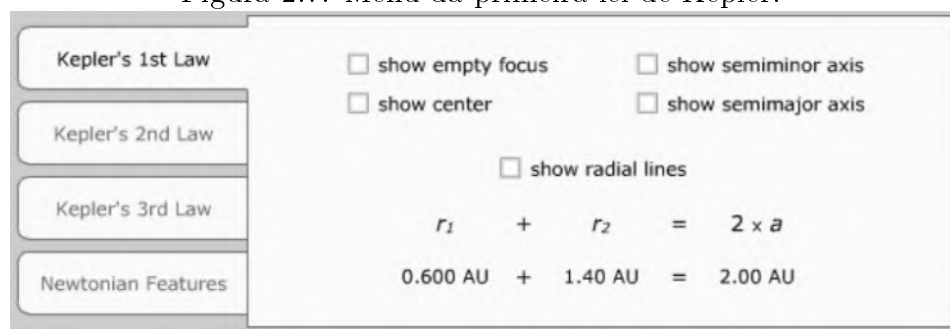
Figura 2.6: Menu de Controle da Animação.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Nomear as órbitas do sistema solar.
- Mostrar as grades.

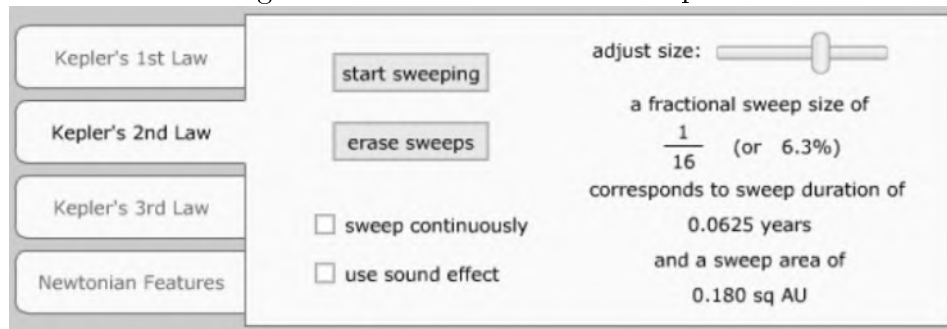
Figura 2.7: Menu da primeira lei de Kepler.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Menu de visualização da primeira lei de Kepler, figura 4.7.
 - Nesta aba, pode-se observar cinco caixas que podem ser selecionadas. Na primeira caixa *show empty focus* podemos visualizar uma órbita elíptica o Sol fica em um dos focos.
 - Também podemos selecionar as medidas dos semieixo maior e semieixo menor, quanto maior a diferença de tamanho dos dois mais excêntrico será a elipse. Ou seja, nos diz o quão deformada é a trajetória dos planetas.
 - É possível, ainda, perceber que os planetas não ficam sempre a mesma distância do Sol. Existe um ponto em que o planeta está mais próximo do Sol, chamado de periélio, e um ponto em que fica mais distante, chamado afélio.

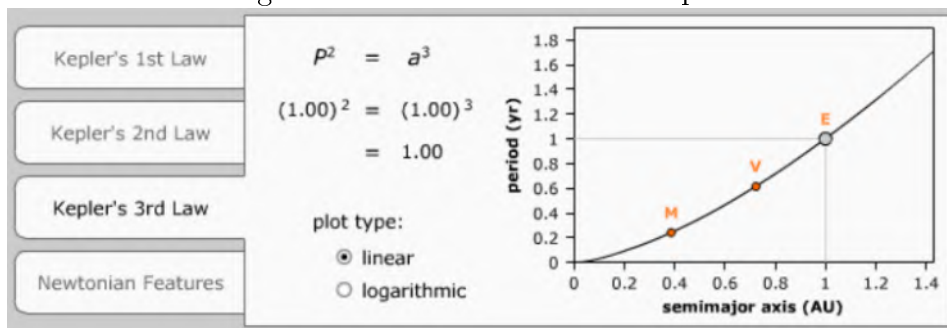
Figura 2.8: Menu da 2ª lei de Kepler.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Menu de visualização da segunda lei de Kepler, figura 4.8.
 - Através desta aba podemos perceber como se comporta a velocidade dos planetas em suas trajetórias. Note que quando o planeta está mais distante do Sol, a velocidade tende a diminuir e quando mais próximo o planeta acelera, ou seja sua velocidade aumenta.
 - Selecionando o botão *Stop sweeping* e iniciando a simulação, pode-se observar faixas coloridas que representam as áreas e mostra que algumas regiões de tamanhos diferentes para cada uma das cores, varridas em intervalos de tempos iguais. Então as áreas também são iguais.
 - Ao deslizar a barra *adjust size*, é possível definir o tamanho da área varrida pelo planeta.

Figura 2.9: Menu da 3ª lei de Kepler.

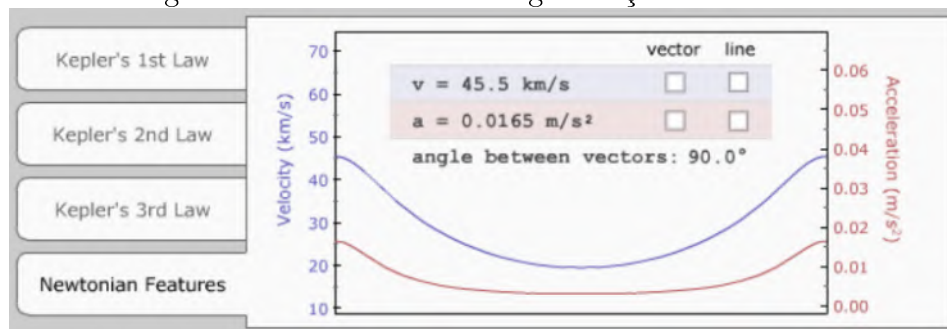


Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Menu de visualização da terceira lei de Kepler, figura 4.9.

- Aqui podemos visualizar a relação entre a distância de um planeta ao Sol e seu tempo de revolução, ou seja para dar uma volta completa em torno do Sol.
- Nesta aba, podemos comprovar que o período de revolução de um planeta ao quadrado é igual ao cubo do semieixo maior, conforme a expressão $p^2 \propto a^3$ que faz o cálculo para o planeta selecionado.

Figura 2.10: Menu da lei da gravitação de Newton.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Menu de opções de visualização das órbitas, figura 4.10.
 - Na aba da lei de Newton podemos visualizar os vetores da velocidade e aceleração dos planetas e o ângulo entre eles.
 - Será possível perceber que a direção e o tamanho dos vetores mudam. No caso da aceleração, seu vetor muda de tamanho de acordo com diferentes pontos da trajetória, ou seja, quanto mais próximo do Sol maior o vetor, no entanto sua direção permanece a mesma sempre apontando para o Sol. Já para a velocidade, o seu vetor muda constantemente de direção e tamanho.

3 Proposta de Sequência Didática

A elaboração da sequência didática teve como pressuposto explorar a teoria da aprendizagem significativa, desenvolvida por David Ausubel, que estabelece uma relação direta entre a nova informação e as concepções prévias trazidas pelos estudantes. Conforme preconiza Ausubel, “[...] o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; descubra isso e ensine-o de acordo” (MOREIRA, 1999).

Além disso, uma atividade que promova aprendizagem significativa requer uma análise das relações entre os materiais que se propõem na atividade e predisposição do estudante para aprender, visto que se há uma relação entre os dois há, portanto, uma verdadeira aprendizagem pois permite a atribuição de significados ao conhecimento.

Os conteúdos abordados no desenvolvimento do trabalho seguiram alguns pontos principais: (1) compreender e apreciar mais a força da gravidade idealizada por Newton; (2) entender o movimento dos corpos celestes a partir das três leis de Kepler; (3) previsão da trajetória de satélites, cometas e planetas. Esses conteúdos foram organizados de tal forma que os conceitos mais gerais e inclusivos foram incorporados na primeira etapa da sequência didática e gradualmente diferenciados em suas especificidades como pressupõe Ausubel no processo de diferenciação progressiva (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

A organização desses conceitos permitem ao estudante fazer conexões e estabelecer ligações entre ideias, contemplando o segundo princípio da organização programática de conteúdo conforme a Aprendizagem Significativa que é a reconciliação integrativa (segundo princípio) (MOREIRA; MASINI, 1982). Dessa forma, o conteúdo é organizado de maneira progressiva no sequenciamento dos temas, propiciando uma organização sequencial que permite conexões entre os conceitos.

A sequência didática é composta por 8 (oito) aulas, cada uma delas de 50 minutos. A construção se deu a partir da busca e análise dos simuladores computacionais (SC) disponíveis na internet. O simulador selecionado nos possibilita realizar diferentes estratégias didáticas visando aulas mais dinâmicas e interativas, com um apelo visual que oferece ao estudante a possibilidade de uma melhor compreensão e aprendizagem.

Na tabela 5.1 apresentamos a descrição da elaboração de cada etapa da sequência didática:

Tabela 3.1: Quadro de descritivo das etapas da Sequência Didática.

ETAPAS	DESCRIÇÃO	TEMPO
Resgatando os conhecimentos prévios	As atividades propostas nesse etapa permitem acesso aos conhecimentos prévios dos alunos acerca do movimento dos corpos e da gravidade para, diagnosticar o grau de maturação da turma. As atividades permitem a consciência das próprias ideias e a importância do que eles já sabem sobre a temática da aula.	2 (duas) aulas
Introduzindo a Astronomia	Nessa etapa, os estudantes terão possibilidade de compreender os aspectos gerais da gravidade (a força de atração entre os corpos - lei de Newton para a gravitação) por meio de atividade com (SC); percebendo-se como parte do universo e, portanto, também está exposto a ação da força da gravidade.	2 (duas) aulas
Compreendendo a Gravidade	As atividades desse etapa tem como objetivo apresentar as três leis que descrevem o movimento dos planetário, que contemplam a compreensão da lei da gravitação universal e seus desdobramentos, a partir de simulações computacionais.	2 (duas) aulas
Aplicação	A proposta para essa aula permite ter uma percepção dos conceitos científico adquiridos pelos alunos, após a intervenção didática. Uma atividade será realizada ao fim de todo o processo, visando a observação dos avanços e assimilações do aluno frente ao conteúdo ministrado.	2 (duas) aulas

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A sequência didática foi dividida em quatro etapas como mostrado na tabela, que contemplam os princípios de organização conceitual da teoria da aprendizagem significativa e os (SC). A seguir, são descritas cada uma delas.

3.1 Primeira Etapa: Resgatando os conhecimentos prévios

Observe o movimento dos corpos caindo no chão a partir de situações físicas e digitais para desenvolver uma compreensão de que todos os objetos, independentemente

de sua massa, soltos de uma mesma altura caem no chão na mesma velocidade e ao mesmo tempo. Esta atividade inclui mídia, como vídeos e experiências que os alunos podem analisar e usar como evidência para construir uma resposta para a pergunta foco: “Por que as coisas caem?”

Os alunos provavelmente já ouviram falar que a força da gravidade da Terra é o que impede cada um de nós flutuar no espaço. Nesta atividade, os alunos desenvolverão suas próprias observações e aprendizado para compreender melhor a força da gravidade. Ao final desta atividade, os alunos serão capazes de construir uma explicação sobre por que dois objetos soltos de uma mesma altura atingem o solo praticamente no mesmo instante e com a mesma velocidade, independentemente de sua massa - um conceito conhecido como lei da queda dos corpos.

- **Atribuição de tempo**

Duas aulas de aproximadamente 50 minutos cada.

- **Objetivos**

- Explicar o porquê dos objetos, independente de sua massa, soltos de uma mesma altura caem no chão com a mesma velocidade.
- Compreender que a matéria possui propriedade de atrair matéria (propriedade medida pelo valor da massa).

- **Preparação para professores**

Em 1687, Isaac Newton publicou *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, uma obra de imenso e profundo impacto. Newton pronunciou três leis do movimento e uma lei da gravitação universal. Eles eram um conjunto unido de princípios que se aplicavam não apenas aos céus, mas também à terra de maneira uniforme. Sua simplicidade e aplicabilidade extremamente ampla mudaram para sempre a astronomia.

A história conta que Newton descobriu a Gravidade quando viu uma maçã caindo enquanto pensava nas forças da natureza. Mas independente do que tenha realmente acontecido, Newton percebeu que alguma força deveria estar agindo sobre

objetos em queda, porque, caso contrário, as maçãs não começariam a cair partir e permaneceriam onde estavam, em repouso.

Ao iniciar a explicação sobre o que vem a ser a gravidade, convém revisar alguns conceitos, por exemplo: **massa** é a quantidade de matéria em um determinado volume de algo. **Volume** é a quantidade de espaço que um objeto ou substância ocupa. Por exemplo, a massa de um saco de 1kg pregos é a mesma. Antes e depois de derretermos todos os pregos até o tamanho de uma bolinha de golfe. A massa de um objeto é o que determina quanta força é necessária para mover, acelerar ou desacelerar o objeto. Quanto maior a massa do objeto, mais força é necessária para alterar seu movimento.

Gravidade é a ação da força gravitacional que age entre quaisquer dois objetos que tenham massa. Peso é uma medida da força da gravidade puxando um objeto. A massa e o peso são coisas diferentes. O peso de um objeto depende de quão fortemente a gravidade está atuando sobre ele. Assim, algo pesará menos onde a força gravitacional sobre ele for mais fraca (como na Lua ou no espaço, por exemplo), mesmo que sua quantidade de matéria (massa) permaneça a mesma.

- **Materiais**

- Computador
- Projetor de multimídia
- Folha de papel A4
- Livro
- Pena
- Duas bolas de mesma massa, volumes diferentes.
- Duas bolas de mesmo volume, massas diferentes.

- **Recursos multimídia**

- Vídeo: Por que corpos de diferentes pesos caem juntos?
- Vídeo: Por que a Terra não cai no Sol?

- **Sugestão de Atividade**

Extraia ideias dos alunos e construa um histórico sobre a gravidade e por que as coisas caem. Em sua discussão, peça aos alunos, conforme necessário, para fazê-los perceber que a gravidade não é mesma em todos os planetas e estrelas. Por exemplo, segure um livro e uma pena e peça aos alunos que prevejam o que aconteceria se você os soltasse simultaneamente da mesma altura: eles atingiriam o solo ao mesmo tempo ou em momentos diferentes? Não deixe cair os objetos neste momento.

Os alunos então assistem dois vídeos. O primeiro vídeo intitulado “Por que corpos de diferentes pesos caem juntos?” disponíveis no canal do Youtube Universo Narrado, onde teremos uma visualização a lei da Queda Livre, que veio ao mundo em 1604 numa carta escrita pelo físico italiano Galileu Galilei a seu amigo Paolo Sarpi. Após a exibição do vídeo, pergunte:

- Você esperava que o martelo e a pena pousassem na superfície da Lua ao mesmo tempo?
- Por que você acha que isso aconteceu?

Em seguida, solte o livro e a pena para que eles vejam o fenômeno acontecer na prática e para que os alunos tentem explicar os fatores que os produziram.

O segundo vídeo, “Por que a Terra não cai no Sol?”, é uma explicação de uma dúvida bastante comum que surge entre os estudantes. Por exemplo: se é a gravidade que nos mantém presos a Terra e faz com que os corpos caiam no chão, por que então não faz a Terra cair no Sol. Ele oferece uma resposta a esse questão explicando o que é a gravidade e porque matéria atrai matéria. Ao reproduzir este vídeo oriente os alunos a observar e discutir a gravidade como uma força que puxa objetos em direção à Terra e pergunte:

- O que é gravidade?
- Onde está a gravidade?
- O que a gravidade faz?

Dê aos alunos tempo para verificar e desenvolver suas ideias . Registre seus pensamentos no quadro ou em uma folha de papel, para que você possa retornar a eles mais tarde.

Identifique junto com os alunos ideias relevantes que podem ajudar a explicar por que as coisas caem. Circule as ideias que todos concordam que ajudarão na investigação. (Nota: Se os alunos não chegaram lá por conta própria, oriente-os a reconhecer a importância da gravidade nesse movimento.)

Divida os alunos em pequenos grupos (cerca de 4 alunos) para que simulem a queda de corpos com os objetos que foram levados para aula. Discuta o efeito da massa na velocidade de um corpo em queda. Peça aos alunos que façam um debate de vários eventos diários nos quais se possa observar a independência da massa na aceleração de um objeto em queda devido à gravidade.

Espera-se que ao fim deste momento que os alunos compreendam que a gravidade é a força que existe entre quaisquer dois objetos que tenham massa. O peso é a força da ação da gravidade sobre um objeto que possui massa. Algumas pessoas pensam que a massa de um objeto e seu peso são a mesma coisa, provavelmente porque pesamos as coisas para determinar sua massa. Mas peso e massa não são a mesma coisa. O quanto algo pesa depende de quão fortemente a gravidade o está puxando. Assim, algo pesará menos onde a força gravitacional sobre ele for mais fraca (como na Lua ou no espaço, por exemplo), mesmo que sua massa não tenha mudado.

Termine com uma discussão em classe sobre as ideias dos alunos que foram registradas no início da aula. Como eles responderiam a essas perguntas agora? Como suas novas respostas se comparam com as antigas?

3.2 Segunda Etapa: A gravidade

Nesta etapa, utilizou-se alguns recursos tecnológicos, dentre eles, o simulador computacional de Órbitas Planetárias integrado com uma atividade investigativa em sala para proporcionar aos alunos uma visão mais próxima do movimento real dos corpos celestes. Eles usaram, também, a fórmula da força gravitacional para calcular e examinar a força de atração entre os corpos.

- **Atribuição de tempo**

Duas aulas de aproximadamente 50 minutos cada.

- **Objetivos**

- Explicar como a gravidade controla o movimento dos planetas em órbita ao redor do Sol.
- Identificar as variáveis que afetam a força da gravidade.
- Prever como o movimento mudaria se a gravidade fosse mais forte ou mais fraca.

- **Preparação para professores**

Primeiramente, o professor deve apresentar o simulador Planetary Orbits da Naap Labs aos alunos. Este momento visa a familiarização do aluno com a plataforma do simulador, em que eles identificam e exploram todos os recursos para como realizar as conexões. Esta atividade pode ser realizada no laboratório de informática ou na própria sala de aula. No caso da escola possuir computadores os alunos poderão responder as atividades propostas em grupos pequenos, manipulando as simulações. Caso não haja laboratório o professor poder comandar as simulações com um projetor de vídeo conectado ao seu computador e orientar os alunos na construção de seus conhecimentos esclarecendo todas as dúvidas técnicas.

Isaac Newton descobriu a relação entre o movimento da Lua e o movimento de um corpo caindo livremente na Terra. Por suas teorias dinâmicas e gravitacionais, ele explicou as leis de Kepler e estabeleceu a moderna equação da gravitação, formulando que a força de atração entre dois corpos é proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

Newton assumiu a existência de uma ação de uma força de atração entre todos os corpos massivos, que não requer contato e que atua à distância. Embora seja a mais fraca das quatro forças conhecidas, ela molda a estrutura e a evolução das estrelas, das galáxias e de todo o universo. As leis da gravidade descrevem as trajetórias dos corpos no sistema solar e o movimento dos objetos na Terra, onde todos os corpos experimentam uma atração gravitacional para baixo exercida pela massa da Terra, a força sentida como peso.

- **Materiais**

- Folha de papel A4
- Lápis
- Projetor de multimídia
- Acesso a computador

- **Recursos multimídia**

- Planetary Orbits Simulator.

- **Sugestão de Atividade**

Comece aula revendo a questão de foco, da aula anterior “Por que as coisas caem?” reflita sobre as experiências realizadas e peça aos alunos que usem o simulador computacional para investigar um pouco mais. Os grupos podem compartilhar:

1. Como eles revisaram suas ideias após a discussão da aula anterior.
2. Quais perguntas eles responderam e quais novas perguntas eles têm.

Apresente o conceito de força gravitacional por meio de slides ou escrevendo na lousa. Diga aos alunos que eles aprenderão sobre como os planetas se mantêm sempre em órbita no sistema solar, bem como a expressão matemática que age sobre esse sistema.

Encaminhe os alunos para o simulador Planetary Orbits da Naap Labs. Aqui, os alunos podem experimentar a força gravitacional sob uma variedade de condições, alterando os planetas do sistema solar, o semieixo maior, a excentricidade e até os vetores de velocidade e aceleração dos planetas. Eles também podem controlar a velocidade da animação em (anos/s).

À medida que os alunos praticam com a atividade interativa, oriente-os que testem os recursos individualmente, desligando algumas variáveis. Em seguida, peça-lhes que respondam às perguntas abaixo em seus cadernos. Diga-lhes para também registrarem qualquer uma de suas próprias perguntas que surgirem enquanto estão investigando.

1. O que acontece com o movimento do planeta quando aumentamos ou diminuímos o semieixo maior da órbita dos planetas?

2. Qual é o efeito que ocorre no movimento dos planetas quando diminuimos o valor da excentricidade para 0 (zero)?
3. Como a excentricidade afeta o movimento dos planetas?
4. Liste as diferenças que podem ser percebidas no movimento de cada planeta do nosso sistema planetário.
5. Desenhe um diagrama de um dos planetas em movimento. Indique onde a a velocidade do planeta é maior e menor.
6. O que é a força gravitacional (a gravidade) e como ela muda de planeta para planeta?

Em seguida, o professor deve distribuir um folheto que fornece a fórmula para calcular a força gravitacional, bem como exemplos de problemas envolvendo a gravidade. Peça aos alunos que acompanhem, por meio do folheto, a explicação de como Isaac Newton deduziu a expressão matemática da lei da gravitação Universal. Mostre o vídeo A Lei da Gravitação Universal, nele os alunos verão como calcular a força de atração entre o planeta Terra e a Lua.

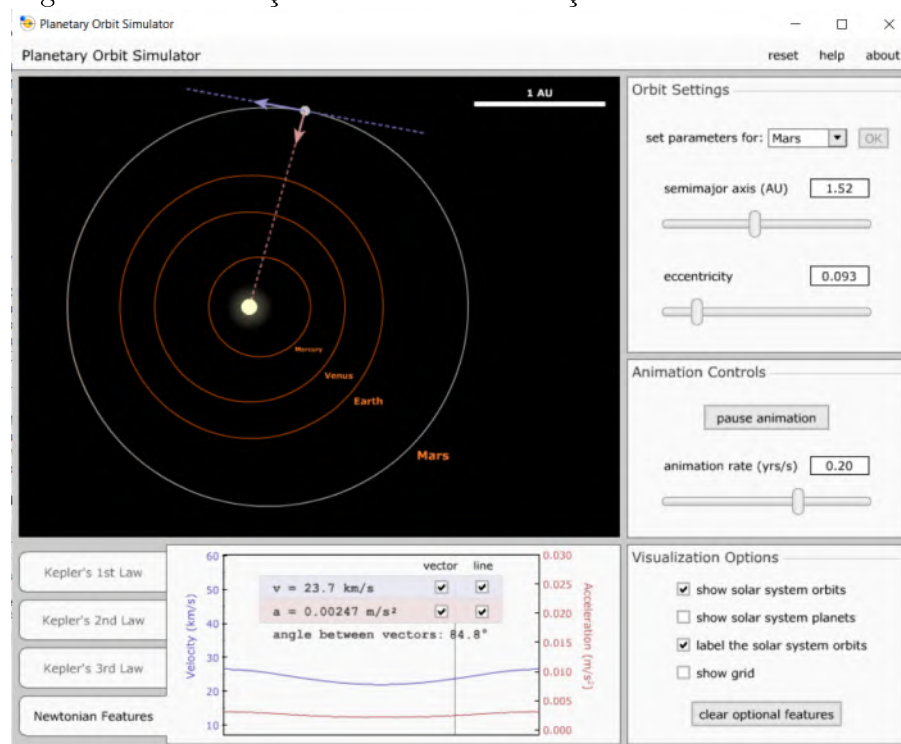
Após discutir a fórmula da lei da gravitação universal, solicite aos alunos que façam a atividade abaixo e preencham a folha de dados calculando a força gravitacional e a velocidade orbital dos planetas. Certifique-se de revisar o fato de que G é uma constante de proporcionalidade que depende do sistema de unidades adotado.

3.2.1 Atividade 01: Velocidade orbital dos planetas ao redor do Sol.

1. (a) Divida os alunos em grupos de dois e forneça cópias da folha de dados e da folha de atividade.
- (b) Peça aos alunos que calculem a força gravitacional do planeta sugerido usando sua fórmula deduzida em aula:

$$F_G = G \frac{Mm}{r^2}$$

Figura 3.1: Simulação da Lei da Gravitação Universal de Newton.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

(Cada grupo calculará velocidade orbital do planeta que estiver solicitado em sua folha de atividade.)

- (c) Peça aos alunos que calculem velocidade orbital do planeta ao redor do Sol em Km/s e registrem no caderno. Certifique-se de que os alunos para calcular a velocidade orbital do planetas eles devem considerar a força gravitacional igual a força centrípeta que é dada pela seguinte expressão:

$$F_c = m \frac{v^2}{r}$$

- (d) Em seguida, oriente aos alunos que visitem o simulador Planetary Orbits da Naap Labs e verifiquem se os resultados aproximados das velocidades orbitais dos planetas estão corretos. (Para conferir os resultados os alunos terão que definir no simulador qual o seu planeta, iniciar a simulação)
- (e) Pergunte aos alunos o que aconteceria com os resultados das velocidades orbitais se considerássemos órbitas circulares para os planetas. Elas

permaneceriam as mesmas ou seriam modificadas?

- (f) Dê um tempo para que os grupos discutam e revisem seus cálculos. Informe aos alunos que eles testarão essas ideias usando novamente o simulador Planetary Orbits.

No final da segunda etapa, os alunos devem saber que: Isaac Newton, com base nas descrições anteriores de movimento de Galileu, Kepler e outros, criou uma visão unificada de força e movimento na qual o movimento em todo o universo pode ser explicado. A ideia de Newton foi criar uma lei física afirmando que a força da gravidade entre quaisquer dois objetos no universo depende apenas de suas massas e da distância entre eles.

3.3 Terceira Etapa: As leis de Kepler

As leis de Kepler do movimento planetário são compostas de três leis que descrevem o movimento e a órbita dos planetas ao redor do sol. Kepler explicou como os planetas se moviam, mas não explicava porque se moviam assim. Embora reconhecesse que algum tipo de força devia manter os planetas em suas órbitas, ele não logrou encontrar uma explicação satisfatória para que tipo de força seria. Coube a Newton explicar as propriedades da força fundamental dominando os movimentos dos corpos astronômicos: a gravidade.

Newton combinou suas leis do movimento e da Gravitação Universal para deduzir as três leis de Kepler.

- **Atribuição de tempo**

Duas aulas de aproximadamente 50 minutos cada.

- **Objetivos**

- Compreender a importância das contribuições de Kepler para a astronomia;
- Compreender as três leis de Kepler;
- Descrever as leis de Kepler usando o movimento orbital do planeta Marte;

- Aprender a utilizar as leis de Kepler para os planetas, estrelas e satélites do Sistema Solar.

- **Preparação para professores**

Nesta atividade, os alunos devem entender como Kepler desenvolveu as suas três leis do movimento planetário e como Newton usou essas leis para descobrir os efeitos da gravidade.

A descoberta do modelo Heliocêntrico de Copérnico em que a Terra gira em torno do Sol foi uma grande mudança na forma como pensamos sobre nosso lugar no universo. Antes disso, acreditava-se amplamente no modelo Geocêntrico de Ptolomeu em que a Terra era o centro do universo.

As leis que explicam como os planetas e corpos celestes giram em torno no Sol foram formuladas por Johannes Kepler, um astrônomo alemão, que se debruçou-se sobre os dados observacionais obtidos por Tycho. Tycho Brahe era um rico astrônomo dinamarquês com um extravagante laboratório na Dinamarca. Ele era de uma família nobre e, portanto, recebeu uma educação formal completa. Ele foi um dos últimos astrônomos a trabalhar sem telescópio. No entanto, ele desenvolveu instrumentos para fazer medições com precisão e seus dados observacionais eram muito valorizados na época.

Kepler foi convidado a ser assistente de Brahe, para trabalhar na órbita de Marte. Olhando para o céu noturno no mesmo horário, foi possível observar que Marte estava um pouco mais a leste todas as noites em comparação com as constelações. Há momentos em que Marte parece estar viajando para trás por um curto período de tempo em comparação com as "estrelas fixas" (movimento retrógrado).

Então, Kepler propôs suas três leis do movimento planetário, que diziam que os planetas orbitam o sol em órbitas elípticas, era uma maneira completamente nova de pensar sobre o sistema solar.

- **Materiais**

- Folha de papel A4
- Lápis
- Projetor de multimídia

- Acesso a computador

- **Recursos multimídia**

- Vídeo: Astrolab|Marte;
- Vídeo: Segunda Lei de Kepler;
- Vídeo: Terceira lei de Kepler;
- Planetary Orbits Simulator.

- **Sugestão de Atividade**

Descubra o que os alunos já sabem sobre as leis de Kepler. Faça as seguintes perguntas:

- Como os planetas se movem?
- As órbitas dos planetas em nosso sistema solar diferem uma das outras?
- Você conhece as leis que regem o movimento do nosso sistema solar?
- Você sabe o que as leis do movimento planetário representam?

peça aos alunos para discutirem suas ideias e que desenhem exemplos desse movimento planetário.

Mostre o vídeo “Astrolab|Marte” disponível na Tvunesp um canal do *Youtube*. Discuta sobre as características do planeta Marte e outros exemplos de movimento relativo em comparação com os outros planetas.

A questão problematizadora para discussão pode ser a seguinte:

Qual a relação que podemos fazer a partir das propriedades orbitais de um planeta e seu movimento? (As respostas esperadas incluem o tamanho relativo do planeta e quanto rápido o planeta está se movendo.)

Os alunos podem conversar entre si para compartilhar suas observações do movimento dos planetas com toda a turma. Concentre esta breve discussão no movimento do planeta Marte, bem como na frequência com que eles acham que o Mercúrio orbita o Sol em relação aos outros planetas.

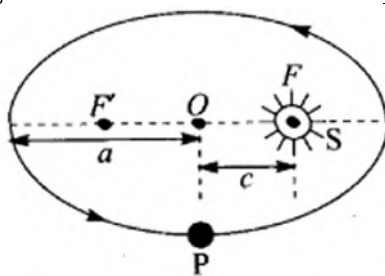
Em seguida, introduza as leis de Kepler, que foram descritas no século XVII pelo astrônomo e matemático Johannes Kepler para explicar o movimento dos planetas ao redor do Sol. Antes de reproduzir o vídeo, peça aos alunos que pensem se as leis de Kepler se aplicam a este movimento do Marte e se podem ser estendidas aos outros planetas que orbitam em torno de suas estrelas ou aos satélites artificiais que orbitam em torno de nosso próprio planeta.

Veja as Leis do Movimento Planetário de Kepler descritas usando três vídeos e um modelo interativo que os alunos podem analisar e usar como evidência para construir sua aprendizagem.

Os dois primeiros vídeos foram retirados de um canal do youtube chamado Socrática Português e o terceiro

Primeira Lei de Kepler: Lei das Órbitas Elípticas é o primeiro vídeo que será exibido aos alunos. Nesse vídeo, você verá que ao desenvolver sua primeira lei, Kepler rejeitou as órbitas circulares e demonstrou que uma elipse poderia explicar melhor os movimentos observados em Marte. e estendeu essa regra a todos os planetas, a lei determinou que a órbita dos planetas é elíptica, com o Sol em um de seus focos. Veja a figura 4.2:

Figura 3.2: Primeira Lei de Kepler.

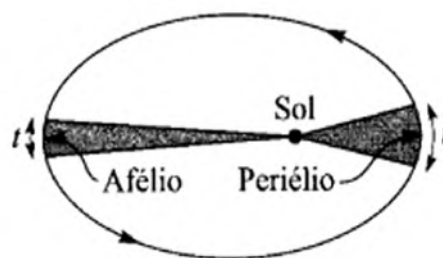


Fonte: Nussenzveig, 2002.

O segundo vídeo é “Segunda Lei de Kepler”, essa lei diz que se desenharmos uma linha entre o Sol e um planeta, essa linha percorrerá áreas iguais em intervalos de tempos iguais, não importando onde o planeta estiver dentro da órbita. Isso levou à descoberta da primeira lei de Kepler que diz que os planetas viajam em órbitas elípticas ao redor do Sol veja a figura 4.3.

No terceiro vídeo “Terceira lei de Kepler”, é mostrado a relação entre o período de revolução de um planeta ao redor do Sol e o raio médio da órbita do planeta.

Figura 3.3: Segunda Lei de Kepler.



Fonte: Nussenzveig, 2002.

Diferentemente das outras leis, a terceira lei de Kepler relaciona as características dos movimentos de diferentes planetas com outros.

Kepler descobriu que a razão entre os quadrados dos períodos de translação dos planetas e os cubos dos respectivos raios médios das órbitas será sempre constante. Veja a equação:

$$\frac{T^2}{R^3} = K \quad (3.1)$$

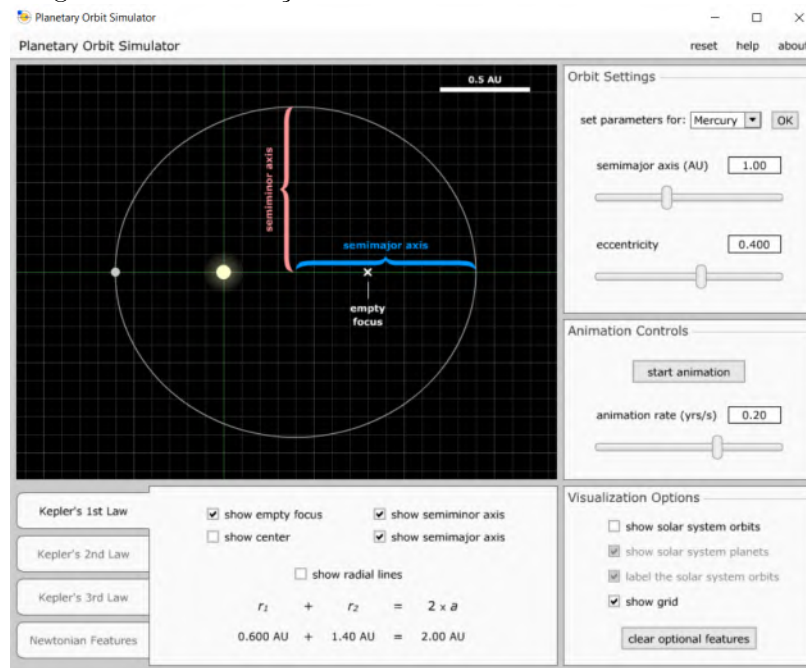
Deixe claro para o aluno o que representa cada letra da equação. Ou seja, **T** é o período de revolução de orbital de um planeta, **R** é a distância média do planeta ao Sol, e **K** é uma constante de proporcionalidade.

Os alunos completam o entendimento das leis de Kepler observando e praticando o movimento dos planetas. Peça que os alunos se concentrem ao manusear as os recursos e variáveis dos simuladores.

3.3.1 Atividade 01: Simulando a Primeira Lei de Kepler: Lei das Órbitas.

- (a) Oriente os alunos a se dividirem em duplas, entregue a lista de perguntas que eles irão responder.
- (b) Comece simulando a órbita de Mercúrio e peça aos alunos que expliquem: Qual o formato dessa órbita? O que acontece com os eixo maior e o eixo menor ao diminuir ou aumentar a excentricidade da órbita?
- (c) Agora escolha o planeta Vênus e analise o movimento e responda por que Vênus

Figura 3.4: Simulação da lei das órbitas do sistema solar.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

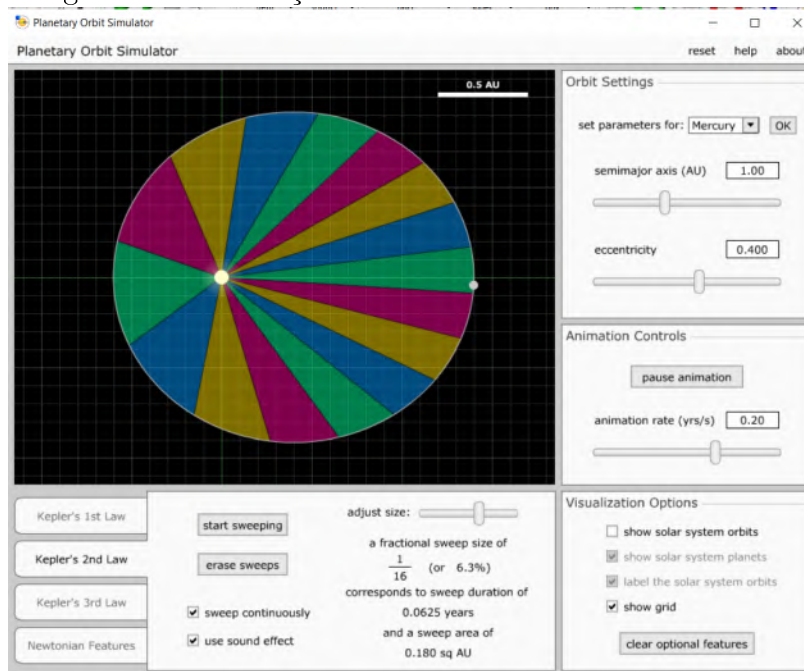
está no centro da órbita circular?

- (d) Qual o comportamento dos planetas que orbitam mais próximos do Sol e os que estão mais distantes?
- (e) Qual comportamento dos planetas em relação a velocidade ao longo de suas órbitas?
- (f) Em que ponto de suas órbitas os planetas viajam mais rápido e mais devagar?

3.3.2 Atividade 02: Simulando a Segunda Lei de Kepler: Lei das Áreas.

1. (a) Qual o significado físico da segunda lei de Kepler?
- (b) Qual a relação entre a segunda lei de Kepler e a lei da gravitação universal de Newton vista anteriormente?
- (c) Com base nos seus conhecimentos e com a análise da simulação explique porque como as áreas varridas são iguais se seus formatos são diferentes.
- (d) Qual comportamento dos planetas em relação a velocidade ao longo de suas

Figura 3.5: Simulação da lei das áreas do sistema solar.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

órbitas?

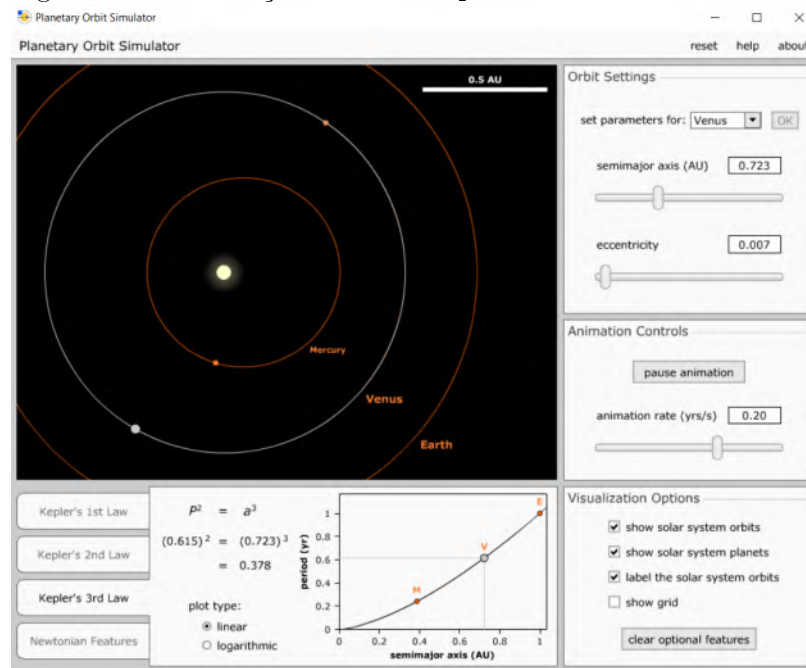
- (e) Em que ponto de suas órbitas os planetas viajam mais rápido e mais devagar?
- (f) A segunda lei de Kepler é válida para uma órbita circular?

3.3.3 Atividade 03: Simulando a Terceira Lei de Kepler: Lei dos Períodos.

1. (a) A terceira lei de Kepler pode ser aplicada em outros sistemas planetários?
- (b) Quando aplicamos a terceira lei em outros sistemas, o valor da constante de Kepler muda?
- (c) Qual é o significado da sigla UA?
- (d) Qual é a unidade de medida de distância equivalente à distância média da Terra ao Sol?

Para finalizar esta etapa, peça aos alunos que escrevam cada lei com suas próprias palavras. As leis de Kepler estão resumidas abaixo:

Figura 3.6: Simulação da lei dos períodos do sistema solar.



Fonte: NAAP Labs, 2022.

- Primeira lei de Kepler (a lei das orbitas): Todos os planetas se movem em órbitas elípticas, com o Sol em um foco.
- Segunda lei de Kepler (a lei das áreas): Uma linha que liga um planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.
- Terceira lei de Kepler (a lei dos períodos): Um planeta mais distante do Sol tem um caminho mais longo e viaja mais lentamente do que um planeta mais próximo. Ou, matematicamente falando, os quadrados dos períodos orbitais dos planetas são diretamente proporcionais aos cubos dos semi-eixos maiores de sua órbita: $P^2 = a^3$, onde P é o período em anos e a é a distância em unidades astronômicas (au).

3.4 Quarta Etapa: Aplicação

Nesta etapa iremos avaliar se houve aprendizagem significativa e se os alunos conseguiram construir novos conceitos a partir do que eles já sabiam.

- **Atribuição de tempo**

Duas aulas de aproximadamente 50 minutos cada.

- **Objetivos**

- Verificar se a aprendizagem foi alcançada de acordo com os objetivos estabelecidos.
- Classificar os resultados obtidos na avaliação final e no questionário.

- **Sugestão de Atividade**

A avaliação da aprendizagem será realizada através do desenvolvimento de um mapa conceitual somativo no final da aplicação da Sequência Didática para avaliar os objetivos gerais do curso, bem como fornecer ao aluno uma ferramenta valiosa para referência futura.

O mapa conceitual é utilizado em diversos níveis do ensino e aprendizagem. Ao utilizar o mapa conceitual como um processo de avaliação de aprendizagem no ensino de física, o professor pode desenvolver e refinar habilidades de pensamento crítico no aluno por meio da geração de ideias, promovendo relações não lineares entre os conceitos físicos e aspectos físicos do cotidiano ajudando o estudante a visualizar a aplicação da teoria de física à prática do dia a dia.

Referências Bibliográficas

COELHO, Rafael Otto. **O uso da informática no ensino de física de nível médio**. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2002.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALTER. **Fundamentos da Física - Mecânica**. tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: Ed. LTC, vol. 2, 2012.

MORREIRA, M. A.; MASINI, E. A. F. S. **Aprendizagem Significativa: A teoria de David Ausubel**. São Paulo, 1982.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. Ed. EPU, São Paulo, 1999.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente**. Instituto de Física -UFRGS, vol. 1, 2011.

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. Revista Brasileira de Ensino de Física [online], v. 43, n. Suppl 1, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451>>. Acesso em: 05 fev. 2022.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa, Campos Conceituais E Pedagogia Da Autonomia: Implicações Para O Ensino**. Instituto de Física - UFRGS, vol. 1, 2012.

MOREIRA, M. A.; NELSON, P. C. S.; SOUZA, J. V. **O que é afinal aprendizagem significativa?**. Instituto de Física - UFRGS, vol. 1, 2012.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos epistemológicos da utilização das tecnologias da informação e comunicação no ensino de Física: Análise na perspectiva Ausubeliana**. Instituto de Física - UFRGS, vol. 1, 2012.

NAAP, *Nebraska Astronomy Applet Project*. *Nebraska Astronomy*. Disponível em: <<https://astro.unl.edu/nativeapps/>>. Acesso em: 27 abril 2022.

Documento Digitalizado Público

Texto final da dissertação

Assunto: Texto final da dissertação
Assinado por: Edemerson Moraes
Tipo do Documento: ANEXO
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Público
Tipo do Conferência: Documento Original

Documento assinado eletronicamente por:

■ **Edemerson Solano Batista de Moraes, COORDENADOR(A) DE CURSOS - FUC0001 - COMNPEF/CNAT**, em 07/05/2024 09:35:47.

Este documento foi armazenado no SUAP em 07/05/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifrn.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1782213
Código de Autenticação: 44db426b87

