



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MESTRADO NACIONAL DO ENSINO DE
FÍSICA

Gilson Kienen

**Uma Sequência de Ensino e Aprendizagem para as Leis de Kepler utilizando
uma simulação computacional**

BLUMENAU

2026

Gilson Kienen

**Uma Sequência de Ensino e Aprendizagem para as Leis de Kepler utilizando
uma simulação computacional**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Mestrado profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(a): Prof. Dr. Esley Scatena Gonçalves

BLUMENAU

2026

KIENEN, Gilson

Uma sequência de Ensino e Aprendizagem para as Leis de Kepler utilizando uma simulação computacional. / Gilson KIENEN ; orientador, Esley Scatena Gonçalves, 2025.

123 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Blumenau, 2025.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Ensino de Física. 3. Simulação computacional. 4. Astronomia. 5. Leis de Kepler. I. Gonçalves, Esley Scatena. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. III. Título.

Gilson Kienen

**Uma Sequência de Ensino e Aprendizagem para as Leis de Kepler utilizando uma
simulação computacional**

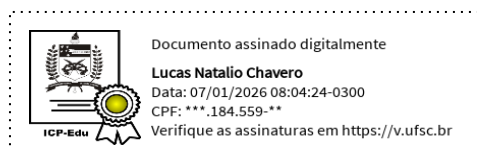
O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 17 de outubro de 2025, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Esley Scatena Gonçalves, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

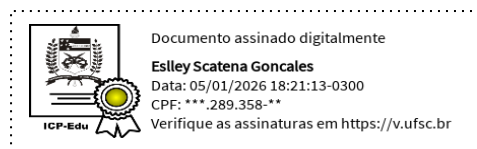
Prof. Ariel Adorno de Souza, Dr.
Universidade Federal de Rondônia - UNIR

Prof. Daniel Girardi, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física pelo Programa de Pós-Graduação.



Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Prof. Esley Scatena Gonçalves, Dr.
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Esley Scatena, pela orientação, dedicação e paciência ao longo desta caminhada. Sua disponibilidade, apoio e contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa e para meu crescimento acadêmico e profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), pelo apoio institucional e pela oportunidade de formação continuada.

Aos professores e colegas do MNPEF, que compartilharam conhecimentos, experiências e reflexões que enriqueceram este percurso.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade em avaliar este trabalho, pelas críticas e sugestões que certamente contribuíram para seu aprimoramento.

Aos meus alunos da Escola EEB Hercílio Deeke, pela participação nas atividades, pelas interações e pelo aprendizado mútuo que se estabeleceu ao longo da aplicação do produto educacional.

À minha família, pelo apoio incondicional, incentivo e compreensão nos momentos de ausência. Aos meus filhos, que são fonte de motivação e inspiração diária, e que me impulsionaram a seguir firme nesta caminhada.

Aos amigos e colegas, pela amizade, palavras de incentivo e companheirismo durante esta etapa.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação, deixo registrado o meu sincero agradecimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

Esta pesquisa propõe a utilização da simulação computacional como instrumento pedagógico para o ensino das Leis de Kepler no Ensino Médio, articulando a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel com os Três Momentos Pedagógicos (Delizoicov). O estudo objetivou desenvolver e aplicar uma sequência didática de cinco encontros, utilizando o simulador *Sistema Solar Galileu*, para ancorar conceitos astronômicos em conhecimentos prévios dos estudantes (princípio ausubeliano) e promover a contextualização crítica (primeiro momento), a problematização (segundo momento) e a sistematização (terceiro momento). A metodologia, de natureza aplicada, foi implementada com três turmas do segundo ano (uma vespertina e duas noturnas), empregando como instrumentos de coleta de dados questionários diagnósticos (para identificar subsunçores ausubelianos) e de feedback, além de observação sistemática dos três momentos em ação. Os resultados demonstram que a ferramenta simulada foi decisiva para a visualização concreta de conceitos abstratos, como órbitas elípticas e variação da velocidade orbital, promovendo uma aprendizagem significativa. A análise comparativa entre as turmas revelou uma disparidade de desempenho, com a turma vespertina apresentando assimilação superior do conteúdo em relação às turmas noturnas, o que evidencia a influência de fatores extrínsecos ao método, como o cansaço e o perfil socioeducacional dos alunos. Conclui-se que a simulação computacional mostra – se como um recurso pedagógico promissor, embora sua aplicação demande adaptações metodológicas que considerem as particularidades de cada contexto de ensino, garantindo assim que todos os alunos possam se beneficiar plenamente da intervenção.

Palavras-chave: Ensino de Física; Leis de Kepler; Simulação Computacional; Aprendizagem Significativa; Astronomia.

ABSTRACT

This research proposes the use of computer simulation as a pedagogical tool for teaching Kepler's Laws in High School, articulating David Ausubel's Theory of Meaningful Learning with the Three Pedagogical Moments (Delizoicov). The study aimed to develop and apply a five-session didactic sequence using the Galileu Solar System simulator to anchor astronomical concepts in students' prior knowledge (Ausubelian principle) and promote critical contextualization (first moment), problematization (second moment), and systematization (third moment). The applied methodology was implemented with three second-year classes (one afternoon and two evening classes), using diagnostic questionnaires (to identify Ausubelian subsumers) and feedback questionnaires as data collection instruments, in addition to systematic observation of the three moments in action. The results demonstrate that the simulation tool was decisive for the concrete visualization of abstract concepts, such as elliptical orbits and variation in orbital velocity, promoting meaningful learning. A comparative analysis between the classes revealed a performance disparity, with the afternoon class showing superior content assimilation compared to the evening classes, which highlights the influence of factors extrinsic to the method, such as fatigue and the students' socio-educational profile. It is concluded that computer simulation is a promising pedagogical resource, although its application requires methodological adaptations that consider the particularities of each teaching context, thus ensuring that all students can fully benefit from the intervention.

Keywords: Physics Teaching; Kepler's Laws; Computer Simulation; Meaningful Learning; Astronomy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação das órbitas elípticas no <i>Sistema Solar Galileu</i>	16
Figura 2 – Demonstração da 2ª Lei de Kepler (áreas iguais em tempos iguais).	16
Figura 3 – Alunos do segundo ano noturno respondendo ao questionário de conhecimentos prévios.....	50
Figura 4 – Alunos do segundo ano vespertino respondendo ao questionário de conhecimentos prévios.....	51
Figura 5 – Aluno do segundo ano vespertino respondendo ao questionário de conhecimentos prévios.....	51
Figura 6 – Introdução a astronomia.....	52
Figura 7 – Apresentação do simulador.....	52
Figura 8 – Apresentação características de uma elipse.....	53
Figura 9 – Apresentação segunda lei de Kepler.....	54
Figura 10 – Terceira Lei de Kepler com uso do simulador.....	54
Figura 11 – Pré questionário realizado por um aluno da 2º 2.....	57
Figura 12 – Pré questionário realizado por um aluno da 2º 2.....	58
Figura 13 – Apresentação teórica inicial, explicando os elementos de uma elipse no quadro.....	60
Figura 14 – Alunos em grupo interagindo com o simulador <i>Sistema Solar Galileu</i> durante a atividade prática no laboratório de informática.....	60
Figura 15 – Atividade desenho de uma elipse.....	62
Figura 16 – Atividade 2.....	63
Figura 17 – Atividade 2.....	64
Figura 18 – Atividade 3.....	66
Figura 19 – Atividade 3.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – PLANO DE AULA (AULA 1)	38
Quadro 2 – OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS ENCONTRO 1	39
Quadro 3 – PLANO DE AULA (AULA 2)	40
Quadro 4 – OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS ENCONTRO 2	41
Quadro 5 – PLANO DE AULA (AULA 3)	42
Quadro 6 – OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS ENCONTRO 3.....	43
Quadro 7 – PLANO DE AULA (AULA 4)	44
Quadro 8 – OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS ENCONTRO 4.....	45
Quadro 9 – PLANO DE AULA (AULA 5).....	46
Quadro 10 – OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS ENCONTRO 5.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Erros no Pré-questionário por Turma e Questão.....	70
Tabela 2 – Análise comparativa (Feedback) das respostas entre as turmas 204 (vespertino), 201 e 202 (noturno)	72
Tabela 3 – Distribuição das respostas dos alunos por turma	76
Tabela 4 – Feedback dos alunos sobre a compreensão da Aula 4 (3ª Lei de Kepler).....	78
Tabela 5 – Número de erros por questão no Pós-Questionário.....	80
Tabela 6 – Respostas dos alunos ao questionário de feedback sobre a compreensão da aula 5.....	82

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	POR QUE FALAR DAS LEIS DE KEPLER.....	13
1.2	EDUCAÇÃO BÁSICA.....	14
1.3	BNCC.....	14
1.4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
1.5	OBJETIVO	20
1.5.1	OBJETIVO GERAL	20
1.5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO DE ENSINO E APRENDIZAGEM.....	21
2.1	APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL.....	21
2.2	OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS	24
2.3	AS TECNOLOGIAS NO ENSINO DA FÍSICA.....	27
3	REVISÃO DA TEORIA FÍSICA.....	28
3.1	AS TRÊS LEIS DE KEPLER.....	28
3.2	PRIMEIRA LEI DE KEPLER	29
3.3	SEGUNDA LEI DE KEPLER.....	34
3.4	TERCEIRA LEI DE KEPLER.....	35
4	CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO.....	37
4.1	ENCONTRO 1.....	38
4.2	ENCONTRO 2.....	40
4.3	ENCONTRO 3.....	42
4.4	ENCONTRO 4.....	44
4.5	ENCONTRO 5.....	46
5	RELATO DE APLICAÇÃO DO PRODUTO.....	47
5.1	INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO.....	48
5.2	PLANEJAMENTO DAS AULAS.....	49
5.3	DESENVOLVIMENTO DAS AULAS.....	55
5.3.1	ENCONTRO 1.....	55
5.3.2	ENCONTRO 2.....	59
5.3.3	ENCONTRO 3.....	64
5.3.4	ENCONTRO 4.....	67
5.3.5	ENCONTRO 5.....	68

6	ANÁLISE DOS RESULTADOS	69
6.1	Análise dos Resultados do Pré-Questionário Aula 1.....	69
6.2	Análise do Feedback dos Alunos Sobre a Compreensão da Aula 2.....	72
6.3	Análise do Feedback dos Alunos Sobre a Compreensão da Aula 3.....	75
6.4	Análise do Feedback dos Alunos Sobre a Compreensão da Aula 4.....	78
6.5	Análise dos Resultados do pós-Questionário e análise do Feedback dos Alunos Sobre a Compreensão da Aula 5	80
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
8	REFERÊNCIAS.....	86
	APÊNDICE A	90

1 INTRODUÇÃO

1.1 POR QUE FALAR DAS LEIS DE KEPLER?

A abordagem das Leis de Kepler no ensino básico justifica-se por sua tríplice relevância: histórica, científica e pedagógica. Essas leis não apenas revolucionaram nossa compreensão do cosmos, como também oferecem oportunidades únicas para despertar o interesse dos estudantes pela astronomia e pelas ciências. A força de sua aplicação didática reside justamente na sua capacidade de unir o passado e o presente da ciência.

Do ponto de vista histórico, as Leis de Kepler representam um marco fundamental na transição do paradigma geocêntrico para o heliocêntrico. Como destaca Kepler (1609/1992, p. 186) em *Astronomia Nova*, '*a órbita planetária é uma elipse com o Sol em um dos focos, abandonando de vez os epíclis ptolomaicos*'. Essa conquista, que demonstrou a elegância matemática do modelo heliocêntrico, solidificou as bases da astronomia moderna. Sob a ótica científica, sua validade permanece atual como demonstração empírica da mecânica celeste. Conforme enfatiza Pasachoff (2006, p. 130), "As três leis de Kepler mantêm-se entre os pilares conceituais mais robustos da astronomia, fornecendo a estrutura para compreensão de órbitas planetárias e exoplanetárias". A persistência dessas leis, mesmo com o avanço da astrofísica, é o que as torna ferramentas excepcionais no âmbito pedagógico.

No âmbito pedagógico, a elegância matemática e a conexão com fenômenos observáveis das Leis de Kepler as tornam ferramentas didáticas poderosas. Como destaca Pasachoff (2015, p. 134) em *Field Guide to Stars and Planets*, '*a simplicidade e precisão dessas leis facilitam a compreensão de conceitos astronômicos complexos, servindo como ponte para tópicos avançados como mecânica celeste e astrofísica*'. Nesse contexto, o valor histórico e a robustez científica das leis despertam o engajamento dos estudantes, criando portais intuitivos para tópicos avançados. Para complementar essa abordagem, recursos interativos como o simulador Sistema Solar (SCATENA, 2023) — disponível em https://scatena.sites.ufsc.br/astrofísica/sistema_solar/index.xhtml — ampliam a

compreensão ao permitir a manipulação de parâmetros orbitais e a visualização dinâmica das leis em ação.

1.2 EDUCAÇÃO BÁSICA

A educação básica no Brasil é um tema bastante discutido e controverso. Segundo o Plano Nacional de Educação (PNE) 2014-2024, a educação básica é composta pela educação infantil, ensino fundamental e ensino médio, e tem como objetivo garantir o direito à educação de qualidade para todos os brasileiros.

No entanto, a realidade da educação básica no país ainda está aquém do desejado. De acordo com o relatório "Education at a Glance 2020", da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o Brasil é um dos países que mais investe em educação, mas os resultados ainda são insuficientes. O relatório aponta que, em 2018, apenas 46% dos estudantes brasileiros atingiram o nível básico de proficiência em leitura, matemática e ciências.

Outro problema enfrentado pela educação básica no Brasil é a desigualdade social. De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) de 2019, a taxa de analfabetismo entre as pessoas com renda mensal de até meio salário-mínimo é quase três vezes maior do que a taxa de analfabetismo entre as pessoas com renda acima de cinco salários-mínimos.

Estudos como o de Bourdieu (1998) e Silva (2010) ressaltam que a distribuição desigual de recursos econômicos e sociais influencia o acesso a escolas de qualidade, recursos pedagógicos adequados e uma infraestrutura favorável ao processo de ensino-aprendizagem. A desigualdade socioeconômica contribui para disparidades educacionais, perpetuando ciclos de exclusão e dificultando a promoção da igualdade de oportunidades.

1.3 BNCC

As Leis de Kepler, embora não nominalmente citadas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), constituem a base conceitual fundamental para a compreensão do movimento dos corpos celestes, alinhando-se diretamente com

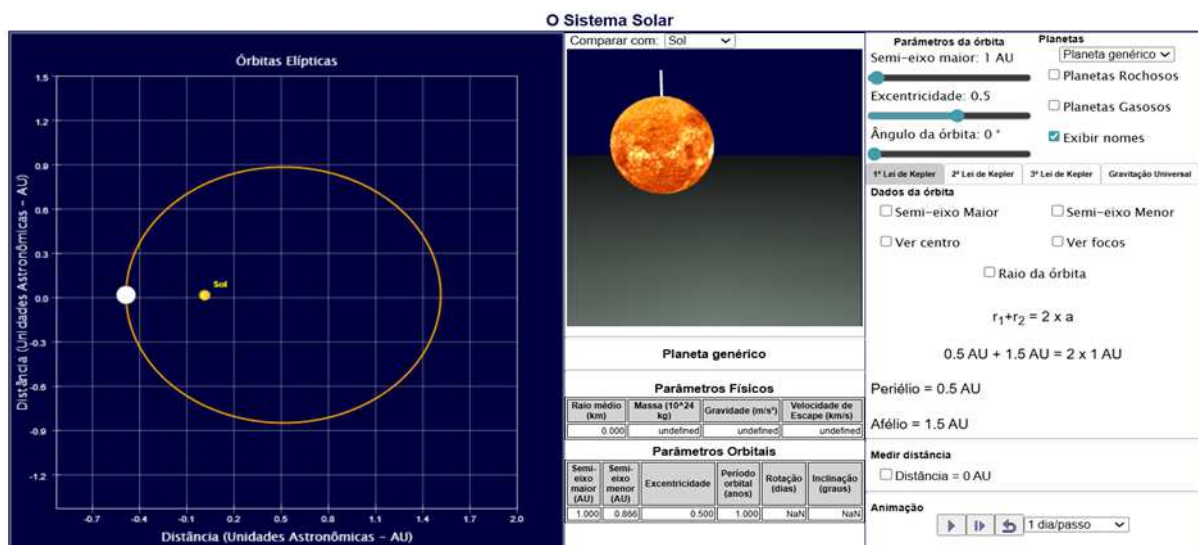
diversos objetivos de aprendizagem no âmbito das Ciências da Natureza, particularmente no eixo temático 'Matéria e Energia'. Sua articulação com o currículo é, portanto, estrutural e necessária, tanto no Ensino Fundamental quanto no Médio.

Nos Anos Finais do Ensino Fundamental, a habilidade EF09CI16 prevê a análise de movimentos de corpos celestes no Sistema Solar com base em modelos explicativos. Nesse contexto, a Primeira e a Terceira Leis de Kepler oferecem um fundamento crucial para compreender a dinâmica orbital dos planetas, permitindo contrastar modelos geocêntricos e heliocêntricos através do estudo das órbitas elípticas e da relação matemática entre o período orbital e a distância média ao Sol.

No Ensino Médio, as conexões tornam-se mais evidentes e complexas. A habilidade EM13CNT202, que trata da relação entre forças centrípetas e movimentos circulares e gravitacionais, dialoga diretamente com a Segunda Lei de Kepler. Esta lei, que descreve a variação da velocidade orbital de um planeta em sua trajetória, ilustra concretamente como a força gravitacional do Sol acelera o planeta no periélio e o desacelera no afélio. Paralelamente, a habilidade EM13CNT203, que aborda as interações gravitacionais no Sistema Solar, encontra nas três leis de Kepler a base conceitual necessária para discutir a influência da massa e da distância nos movimentos planetários, estabelecendo os alicerces para a posterior compreensão da Lei da Gravitação Universal.

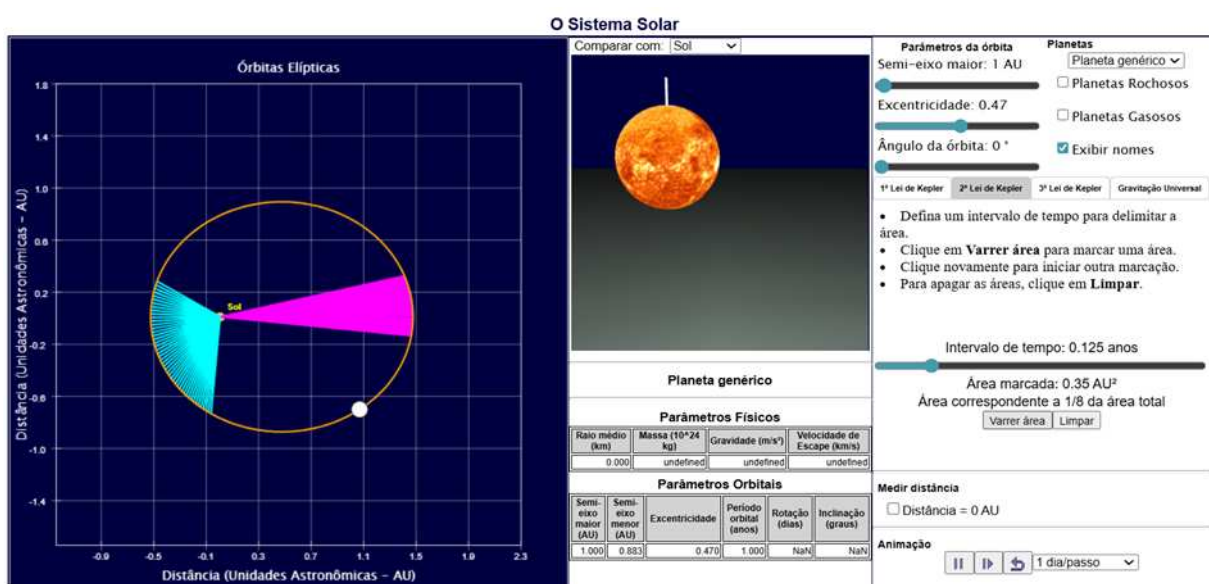
A BNCC ainda incentiva, através de sua Competência Geral 5, o uso de recursos tecnológicos e abordagens interdisciplinares. Neste panorama, o software Sistema Solar (SCATENA, 2023) apresenta-se como uma ferramenta pedagógica estratégica e alinhada às diretrizes curriculares. Como evidenciado nas Figuras 1 e 2, através de sua interface os alunos podem visualizar de forma concreta as órbitas elípticas (Figura 1), materializando a Primeira Lei, e observar a relação entre o período orbital e a área varrida (Figura 2), exemplificando de maneira dinâmica a Segunda Lei. Adicionalmente, a possibilidade de manipular parâmetros como excentricidade e semieixo maior (recursos também ilustrados pelo software) facilita a exploração quantitativa das relações previstas pela Terceira Lei, promovendo uma compreensão integrada dos fenômenos astronômicos.

Figura 1 – Representação das órbitas elípticas no *Sistema Solar Galileu*



Fonte: Elaborado pelo autor com base no software (SCATENA, 2023).

Figura 2 – Demonstração da 2ª Lei de Kepler (áreas iguais em tempos iguais).



Fonte: Elaborado pelo autor com base no software (SCATENA, 2023).

1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A presente revisão bibliográfica foi construída a partir de uma busca sistemática em bases de dados e plataformas de pesquisa acadêmica, como o Google Acadêmico e o portal de periódicos da CAPES. A pesquisa utilizou como palavras-chave as seguintes combinações: "Leis de Kepler", "Gravitação Universal", "leis de Kepler e simuladores" e "simulações gravitacionais". Foram priorizados trabalhos publicados nos últimos dez anos, com foco especial em dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), artigos de periódicos e outros trabalhos que abordam a utilização de tecnologias digitais como ferramentas pedagógicas para o ensino das Leis de Kepler. A análise dos trabalhos selecionados revelou um crescente interesse na área, com abordagens diversificadas que exploram diferentes softwares, metodologias de ensino e seus respectivos impactos na aprendizagem em Física.

Com o objetivo de sistematizar a produção acadêmica referente à utilização de simulações computacionais como ferramenta pedagógica no ensino das Leis de Kepler, a análise dos trabalhos consultados revela um crescente interesse na área, com abordagens diversificadas que exploram diferentes softwares, metodologias de ensino e seus respectivos impactos na aprendizagem em Física.

Dentre as estratégias identificadas, destaca-se a utilização de sequências didáticas associadas a simulações específicas para o ensino das leis planetárias. Nesse contexto, a dissertação de Victor Rocha Rodrigues da Silva (2017), desenvolvida no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), propõe o desenvolvimento de sequências didáticas fundamentadas na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1968). O autor apresenta dois produtos educacionais distintos: o primeiro voltado para o ensino médio regular, empregando o Planetary Orbit Simulator (University of Nebraska-Lincoln) para abordagem conceitual das três leis; o segundo, direcionado a discentes de alto rendimento, aprofunda aspectos analíticos da Segunda Lei de Kepler mediante ferramentas de Mecânica Clássica.

Em estudo correlato, o trabalho de conclusão de curso (TCC) de Kedma Dantas da Silva (2017) também adota o Planetary Orbit Simulator, reforçando o

potencial didático das simulações computacionais no ensino de Física. Paralelamente, pesquisa publicada na revista *A Física na Escola* (2023) demonstra a aplicabilidade do software GeoGebra como recurso complementar para o ensino das Leis de Kepler, evidenciando a integração eficaz entre tecnologia e conteúdo programático.

A literatura também aborda a simulação sob a perspectiva da programação e gamificação. Omena (2022) explora o ambiente Scratch para introduzir noções básicas de programação aliadas à simulação computacional no ensino médio, utilizando estratégias de gamificação no estudo de órbitas planetárias. Essa abordagem ressalta a necessidade de capacitação docente para o emprego adequado dessas ferramentas. Em nível técnico mais avançado, Souza (2024) propõe a modelagem de órbitas planetárias mediante a linguagem Python, oferecendo uma alternativa customizável para simulações computacionais.

A modelagem computacional é discutida por Nascimento et al. (2017) como ferramenta tecnológica ampla no ensino de Física, destacando seu potencial para superar desafios inerentes à abordagem tradicional. Complementarmente, Araújo (2019) propõe uma abordagem de ensino híbrido para as Leis de Kepler, integrando tecnologias digitais como componente central de um produto educacional em Astronomia. Outra contribuição relevante é o Laboratório Virtual de Astronomia descrito por Pacheco et al. (2021), focado especificamente no ensino da Terceira Lei de Kepler por meio de ambientes simulados.

Vale ressaltar que a concepção de simuladores educacionais para astronomia frequentemente se inspira em ferramentas consolidadas internacionalmente. Um exemplo paradigmático é o conjunto de simulações desenvolvidas pelo projeto *Nebraska Astronomy Applet Project* (NAAP), da Universidade de Nebraska-Lincoln, que oferece laboratórios virtuais robustos para o ensino de órbitas planetárias (UNL, 2024). O simulador *Sistema Solar Galileu* (SCATENA, 2023), utilizado nesta pesquisa, dialoga com essa tradição, apresentando uma interface adaptada e traduzida para o contexto educacional brasileiro, com foco na acessibilidade e no alinhamento curricular com a BNCC.

A revisão demonstrou que as simulações computacionais são um recurso pedagógico consolidado para o ensino das Leis de Kepler. Esta pesquisa busca

ampliar o conhecimento na área, propondo uma intervenção didática fundamentada teoricamente e baseada em tecnologias acessíveis. O estudo tem o potencial de enriquecer tanto a prática docente quanto futuras investigações sobre o tema.

As contribuições originais deste trabalho estruturam-se em três eixos fundamentais, que conferem singularidade e relevância à pesquisa no campo do ensino de Física. O primeiro eixo refere-se à inovação tecno pedagógica, na qual este estudo se distingue de investigações anteriores, como as de Silva (2017) e Araújo (2019), que empregaram simuladores complexos, a exemplo do Planetary Orbit Simulator. Em contrapartida, propõe-se a utilização do software Sistema Solar Galileu, uma ferramenta livre, online e de interface intuitiva, desenvolvida especificamente para contextos educacionais com restrições tecnológicas. Entre as vantagens imediatas desta opção incluem-se sua acessibilidade, uma vez que não demanda instalação ou conhecimentos avançados de programação; a compatibilidade com dispositivos de configuração modesta, como tablets e notebooks antigos, por não exigir processamento gráfico avançado; a ausência de custos de licenciamento; e o fato de estar desenvolvido em português, empregando terminologia alinhada aos livros didáticos nacionais – superando, assim, barreiras linguísticas presentes em ferramentas como o GeoGebra. Ademais, as atividades propostas articulam-se diretamente com os objetivos de aprendizagem estabelecidos pela BNCC (EF09CI16, EM13CNT202/203), preenchendo uma lacuna identificada em trabalhos como os de Omena (2022) e Souza (2024), cujas propostas não se mostram totalmente adaptadas ao currículo brasileiro.

O segundo eixo reside na elaboração de um material didático pronto para uso, que se configura como um produto educacional completo e flexível. Este inclui uma sequência de cinco aulas com planos detalhados, atividades interativas e instrumentos de avaliação formativa, além de figuras comentadas do simulador – como representações de órbitas elípticas e variações de velocidade orbital – e roteiros de simulação com questões guiadas para a exploração quantitativa de conceitos, a exemplo do cálculo de períodos orbitais. A flexibilidade do material permite sua adaptação a distintas realidades escolares, fator crucial em um contexto marcado por desigualdades educacionais, conforme evidenciado pelos dados da PNAD (2019).

Por fim, o terceiro eixo articula a integração teórico-prática mediante uma fundamentação pedagógica, que combina a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (AUSUBEL, 2003) com os Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002). Esta abordagem garante que a ancoragem em conhecimentos prévios e a contextualização crítica sejam priorizadas, assegurando uma assimilação efetiva dos conceitos. Ilustrativamente, na Atividade 3, os alunos exploram a Segunda Lei de Kepler por meio da manipulação de parâmetros orbitais no simulador, percorrendo as etapas de problematização, organização do conhecimento e aplicação.

1.5 OBJETIVO

1.5.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral é trabalhar com um simulador educacional de astronomia como recurso de ensino para estudantes. Serão investigados indícios da eficácia do simulador em facilitar o aprendizado dos conceitos astronômicos, e leis de Kepler bem como sua capacidade de estimular o pensamento crítico e o desenvolvimento de perguntas baseadas nas experiências vivenciadas pelos alunos durante o uso do simulador.

Serão analisados aspectos como engajamento dos alunos, aquisição de conhecimento, habilidades de resolução de problemas e o impacto no desenvolvimento de perguntas pertinentes ao tema da astronomia.

1.5.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Investigar o impacto do simulador educacional de astronomia no engajamento dos alunos durante o processo de aprendizagem.
- Examinar a influência do simulador educacional de astronomia na motivação dos alunos para a exploração de perguntas relacionadas à astronomia.
- Identificar os principais desafios do uso do simulador educacional de astronomia no contexto educacional.

- Analisar a efetividade do simulador educacional de astronomia na promoção de uma abordagem prática e interativa para o aprendizado dos conceitos astronômicos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO DE APRENDIZAGEM

O referencial teórico que fundamenta esta pesquisa articula três eixos centrais: a Aprendizagem Significativa de Ausubel (AUSUBEL, 2003), que enfatiza a ancoragem do novo conhecimento em estruturas cognitivas prévias; os Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002), que fornecem a estrutura metodológica para contextualização, problematização e sistematização; e o potencial das tecnologias educacionais como facilitadoras dessa articulação teórico-prática, desde que integradas de forma pedagogicamente intencional (TEIXEIRA, 2018).

2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

O presente estudo adota como referencial teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, enfatizando a motivação do estudante e o papel fundamental do conhecimento prévio como principal influenciador da aprendizagem subsequente. Nessa perspectiva, é crucial considerar o que o aluno já sabe como alicerce para a construção de novos conhecimentos. O engajamento e a motivação discente são potencializados quando o conteúdo apresentado se mostra significativo e estabelece conexões claras com suas estruturas cognitivas prévias (AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2006).

David Paul Ausubel (1918-2008), psicólogo estadunidense nascido em Nova York, destacou-se por suas contribuições em áreas como psicologia do desenvolvimento, educacional, psicopatologia e desenvolvimento do ego. Sua notoriedade, contudo, deve-se principalmente à proposição da Aprendizagem Significativa, conceito que alcançou grande relevância no campo educacional (AUSUBEL, 2003).

Para Ausubel, a aprendizagem significativa ocorre mediante a interação substantiva e não arbitrária entre o novo conteúdo e conceitos relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Essa interação promove a assimilação de significados, resultando no desenvolvimento de uma estrutura cognitiva mais complexa e diferenciada. Duas condições são essenciais: (1) o material novo deve ser potencialmente significativo, ou seja, relacionável logicamente (não arbitrariamente) à estrutura cognitiva do aluno; e (2) o aprendiz deve manifestar uma predisposição para realizar essa ligação de forma não literal, integrando o novo significado à sua estrutura de conhecimento (AUSUBEL, 1980).

A "relação não-arbitrária" implica a existência de uma ligação lógica e explícita entre a nova informação e um subsunçor específico (imagem, símbolo, conceito, proposição). Já a "relação substantiva e não-literal" significa que o aprendiz compreende a essência do novo conhecimento, podendo expressá-lo com suas próprias palavras, de forma diferente da apresentação original, demonstrando a internalização do significado (AUSUBEL, 2003).

Portanto, a aprendizagem significativa não depende apenas da mera relação entre o novo material e ideias existentes. Requer que a estrutura cognitiva do aluno disponha não apenas dos subsunçores relevantes, mas também das capacidades intelectuais necessárias para processar e assimilar a nova informação. É essa capacidade de assimilação que transforma o significado lógico potencial do material no significado psicológico único para o aprendiz, distinguindo-a radicalmente da aprendizagem mecânica ou por repetição (AUSUBEL, 2003).

Em síntese, a aprendizagem significativa fundamenta-se na ancoragem não arbitrária e substantiva (não literal) de novas ideias, simbolicamente expressas, ao conhecimento prévio do aprendiz. O produto dessa interação ativa e integradora é a geração de um novo significado, que reflete a natureza substantiva e denotativa desse processo cognitivo (AUSUBEL, 2003).

O subsunçor refere-se a um conceito, proposição ou esquema já consolidado na estrutura cognitiva, que serve de ancoradouro para a assimilação de novas informações, conferindo-lhes significado. A aprendizagem é significativa quando o novo conteúdo é integrado e assimilado por subsunçores existentes. Quando essa integração falha, a aprendizagem tende a ser mecânica, resultando

em informações armazenadas de forma isolada ou através de associações arbitrárias, sem real compreensão (PELIZZARI et al., 2002).

Quando o aprendiz carece dos subsunçores adequados para a aprendizagem significativa, Ausubel (2003) propõe o uso de organizadores prévios como estratégia pedagógica. Estes atuam como pontes cognitivas ou âncoras provisórias, facilitando a compreensão e, principalmente, promovendo o desenvolvimento de subsunçores que viabilizarão a aprendizagem subsequente do conteúdo alvo. Eles estabelecem uma conexão explícita entre o conhecimento prévio disponível (mesmo que genérico) e o conhecimento necessário para a nova aprendizagem, funcionando como mediadores relevantes e específicos para a tarefa (AUSUBEL, 1980; MOREIRA, 2006, p. 23).

A eficácia dos organizadores prévios baseia-se em princípios fundamentais:

1. Provisão de Âncoras: Eles fornecem ideias relevantes e inclusivas que, ao estarem disponíveis na estrutura cognitiva, permitem que novas ideias logicamente significativas se tornem potencialmente significativas e, finalmente, assimiladas de forma significativa (AUSUBEL, 2003).

2. Vantagens das Ideias Inclusivas: Ideias mais abrangentes e estáveis na estrutura cognitiva, adaptadas como organizadores, oferecem maior poder explicativo, estabilidade e capacidade integradora para o novo material específico (AUSUBEL, 2003).

3. Função Explícita de Mediação: O organizador deve identificar explicitamente conteúdo relevante pré-existente (ou introduzi-lo) e demonstrar explicitamente a relevância tanto desse conteúdo quanto do próprio organizador para o novo material a ser aprendido (AUSUBEL, 2003, p. 12).

Conforme destacado por Ausubel (2003), o objetivo central do organizador prévio é esclarecer, reconciliar e tornar discriminado o material de aprendizagem que se segue. Ele cumpre esse objetivo ao: (a) ativar ou prover subsunçores relevantes, oferecendo suporte conceitual para a incorporação e retenção estável de informações detalhadas e diferenciadas; e (b) aumentar a capacidade do aprendiz de discriminar entre as novas informações e ideias semelhantes ou conflitantes já presentes em sua estrutura cognitiva. Sua função essencial, como resume Moreira (2006, p. 23), é "diminuir a lacuna entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa

saber para aprender significativamente o novo material", atuando efetivamente como facilitadores da aprendizagem significativa.

2.2 OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Os três momentos pedagógicos propostos por Delizoicov e colaboradores (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002) são uma metodologia que busca promover uma aprendizagem significativa por meio de três momentos distintos: 'contextualização', 'conceitualização' e 'aplicação'. Esses momentos são interligados e buscam tornar o processo de ensino e aprendizagem mais significativos para o aluno.

O primeiro momento pedagógico, a "contextualização", busca apresentar ao aluno a situação problemática ou o contexto no qual o conhecimento será abordado.

O primeiro momento pedagógico, a Problemática Inicial, busca apresentar ao aluno a situação problemática ou o contexto no qual o conhecimento será abordado. Nesta etapa, são apresentadas questões ou situações que visam relacionar o conteúdo em estudo com situações reais que os alunos conhecem, porém, podem não compreender completamente devido à falta de conhecimentos científicos. O objetivo é despertar discussões e reflexões, buscando identificar explicações contraditórias e limitações do conhecimento já expresso pelos alunos quando comparado ao conhecimento científico selecionado para ser abordado. Em outras palavras, na problematização, procura-se criar um contexto em que os alunos questionem suas concepções prévias e identifiquem as lacunas em seu conhecimento científico, estimulando um diálogo que leve à construção de um entendimento mais consistente e embasado (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002, p. 201).

Neste primeiro momento, a Problemática Inicial, busca-se compreender e captar a posição dos alunos em relação ao tema em estudo. É importante que o professor adote uma postura que estimule questionamentos e suscite dúvidas, em vez de simplesmente fornecer explicações prontas. O foco está em promover um ambiente de discussão e reflexão, permitindo que os alunos expressem suas ideias,

compartilhem suas concepções prévias e levantem questões. O professor atua como um facilitador, incentivando a participação ativa dos alunos e desafiando-os a pensar criticamente, contribuindo para a construção coletiva do conhecimento.

O segundo momento pedagógico, a "conceitualização", busca apresentar os conceitos científicos relacionados ao contexto ou situação problemática apresentados anteriormente. Nesse momento, os conceitos científicos são apresentados de forma clara e organizada, buscando estabelecer relações entre eles.

Delizoicov e Angotti (1990, p. 29) sugerem que, no segundo momento pedagógico, os conhecimentos relevantes sejam estudados de maneira sistemática, sob a orientação do professor. Nessa etapa, as definições, conceitos, relações e leis apresentadas no texto introdutório devem ser exploradas em maior profundidade.

Nesse sentido, é fundamental que os alunos se envolvam em um estudo aprofundado dos conceitos-chave, de modo a estabelecer uma base sólida de conhecimento. O professor desempenha um papel central ao orientar os estudantes, auxiliando-os a analisar minuciosamente os fundamentos teóricos relacionados ao tema em questão.

De acordo com Albuquerque, Santos e Ferreira (2015, p. 467) esse é o momento em que os conhecimentos científicos passam a ser incorporados nas discussões. Durante essa etapa, os alunos começam a desenvolver uma compreensão em relação à problematização ou situação inicial apresentada.

No entanto, para que isso ocorra de forma efetiva, é necessário que sejam disponibilizados materiais de consulta e sugeridas atividades complementares para enriquecer as discussões.

Esses materiais e atividades têm como objetivo incentivar e aprimorar a sistematização dos conhecimentos adquiridos pelos alunos. Eles podem incluir recursos como livros, artigos científicos, vídeos ou experimentos práticos, que permitam uma exploração mais aprofundada do tema em estudo.

Ao fornecer esses recursos e atividades complementares, o professor contribui para que os alunos ampliem sua compreensão, relacionem os conceitos aprendidos com exemplos práticos e apliquem seus conhecimentos em contextos

diversos. Isso fortalece a capacidade dos alunos de sistematizar e organizar as informações, promovendo uma aprendizagem mais significativa.

Nesse contexto, Delizoicov e Angotti (1990), destacam a relevância em oferecer uma variedade de atividades para promover a organização da aprendizagem. Isso pode incluir a exposição pelo professor de definições e propriedades, bem como a formulação de questões e exercícios de fixação semelhantes aos encontrados nos livros didáticos. Além disso, é possível utilizar recursos tecnológicos, como televisão, vídeos, filmes, programas tecnológicos, aplicativos de celulares, simulações e outros, para auxiliar na sistematização do conhecimento. Essas mídias tecnológicas podem ser incorporadas de maneira complementar, fornecendo uma abordagem atualizada e interativa ao processo de ensino-aprendizagem.

O terceiro momento pedagógico, essa última etapa consiste em uma abordagem sistemática do conhecimento que o aluno vem adquirindo. Nessa fase, busca-se analisar e interpretar tanto as situações iniciais que motivaram o estudo, quanto outras situações que possam ser explicadas pelo mesmo conhecimento, mesmo que não estejam diretamente relacionadas ao motivo inicial. Em outras palavras, essa etapa visa explorar o conhecimento adquirido pelo aluno de forma abrangente, permitindo uma compreensão mais ampla e aplicação em diferentes contextos. (Delizoicov e Angotti, 1990, p. 31).

Nessa fase, é fundamental que os alunos identifiquem as relações entre os temas abordados, não se limitando apenas aos conceitos, mas também explorando fenômenos que possam estar conectados às informações apresentadas. O professor desempenha um papel problematizador, podendo trazer questionamentos que não foram levantados pelos alunos, bem como fornecer informações adicionais e apresentar problemas que surgiram ao longo do processo. Além disso, essa etapa oferece uma oportunidade para o professor formalizar conceitos que não foram totalmente compreendidos pelos alunos. É um momento propício para a consolidação do conhecimento, permitindo uma compreensão mais aprofundada e facilitando a aplicação dos conceitos em diferentes situações. (Albuquerque, Santos e Ferreira, 2015).

Com base nesses princípios, a abordagem metodológica dos Três Momentos Pedagógicos visa estabelecer uma interação e diálogo efetivos entre professores e estudantes, reconhecendo e valorizando as ideias e concepções naturais dos alunos. Por meio dessa abordagem, busca-se criar situações de aprendizagem que despertem a curiosidade e permitam a exploração contextualizada do conhecimento, proporcionando uma compreensão mais ampla do mundo ao redor dos alunos. Essa metodologia procura criar um ambiente propício para que os estudantes expressem suas próprias ideias, compartilhem perspectivas individuais e participem ativamente na construção do conhecimento. O resultado almejado é uma educação mais significativa, que estimule o pensamento crítico, a reflexão e o aprimoramento das habilidades cognitivas dos alunos.

2.3 AS TECNOLOGIAS NO ENSINO DE FÍSICA.

O uso de tecnologias no ensino de física tem sido cada vez mais explorado pelos educadores. A introdução de novas ferramentas e recursos tecnológicos pode tornar o ensino da física mais atrativo e acessível aos alunos, além de proporcionar uma maior interação e participação dos estudantes na construção do conhecimento.

Segundo Teixeira (2018, p. 89), em *Tecnologias Digitais no Ensino de Física*, o uso de ferramentas tecnológicas no ensino de física contribui para desmitificar a complexidade da disciplina, tornando-a mais acessível e envolvente para os estudantes através da visualização de fenômenos e experimentação virtual. Entre as tecnologias utilizadas no ensino de física, destacam-se os simuladores, softwares, jogos educativos, aplicativos para dispositivos móveis, vídeos educativos, entre outros. Essas ferramentas funcionam como andaimagem cognitiva (VYGOTSKY, 2007), permitindo a visualização de relações físicas não observáveis em ambientes escolares convencionais.

No entanto, sua eficácia está condicionada à competência docente para articular tecnologia, conteúdo pedagógico e conhecimento disciplinar – conforme o *framework* TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*), traduzido livremente como Conhecimento Tecnológico e Pedagógico do Conteúdo (MISHRA; KOEHLER, 2006)

A tecnologia não suprime a necessidade de fundamentação teórico-metodológica. Como adverte Kenski (2012, p. 98):

"Recursos tecnológicos sem mediação pedagógica qualificada convertem-se em instrumentos ociosos, incapazes de promover aprendizagem significativa".

3 REVISÃO DA TEORIA FÍSICA

As Leis de Kepler, formuladas no século XVII, descrevem matematicamente o movimento planetário. A Primeira Lei estabelece órbitas elípticas com o Sol em um dos focos (STEWART, 2007). A Segunda Lei demonstra que a velocidade orbital varia para varrer áreas iguais em tempos iguais, consequência direta da conservação do momento angular. A Terceira Lei relaciona o período orbital (T) ao semieixo maior (a) mediante $T^2 \propto a^3$, derivável da Lei da Gravitação Universal de Newton quando aplicada a órbitas circulares aproximadas (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009). Coletivamente, estas leis fornecem a base para a compreensão da dinâmica orbital no sistema solar.

3.1 AS TRÊS LEIS DE KEPLER

As Leis de Kepler foram estabelecidas pelo astrônomo alemão Johannes Kepler no início do século XVII (KEPLER, 1609/1992), e consistem em três princípios fundamentais que descrevem o movimento orbital dos planetas. A primeira lei, originalmente publicada na obra *Astronomia Nova* (1609), afirma que 'os planetas descrevem órbitas elípticas em torno do Sol, ocupando este um dos focos da *elipse*' (KEPLER, 1609/1992, p. 186). A segunda lei estabelece que a velocidade de um planeta varia de acordo com sua posição na órbita, sendo maior nos pontos mais próximos ao Sol (periélio) e menor nos pontos mais distantes (afélio). A terceira lei, por sua vez, relaciona o período orbital de um planeta com sua distância média ao Sol (PASACHOFF, 2006).

Essas leis são fundamentais para o entendimento da dinâmica orbital dos corpos celestes e constituíram a base para o desenvolvimento da Lei da Gravitação Universal, formulada por Isaac Newton (NEWTON, 1999). Como destaca Saraiva

(2013, p. 112), *'a generalização matemática de Newton, inspirada nas leis de Kepler, unificou a mecânica celeste e terrestre sob um mesmo princípio físico'*.

3.2 PRIMEIRA LEI DE KEPLER

A primeira lei de Kepler, também conhecida como lei das órbitas, afirma que "Os planetas descrevem órbitas elípticas em torno do Sol, estando este situado em um dos focos da elipse". Em outras palavras, os planetas do sistema solar não orbitam o Sol em círculos perfeitos, mas sim em elipses com o Sol localizado em um dos focos da elipse. Essa descoberta revolucionou a compreensão do movimento dos corpos celestes no espaço e ajudou a explicar fenômenos como as variações de velocidade dos planetas em diferentes pontos de suas órbitas. Para demonstrar a 1ª Lei, levarei em consideração Stewart (2007).

Com base na lei da gravitação universal formulada por Newton, a qual estabelece que a força entre dois corpos é proporcional ao inverso do quadrado da distância que os separa ($F \propto 1/r^2$), demonstra-se que as trajetórias possíveis para um corpo sob a ação de tal força são seções cônicas. Especificamente, as órbitas fechadas e limitadas correspondem a elipses (sendo a circunferência um caso particular de excentricidade zero), enquanto as órbitas abertas e ilimitadas são representadas por parábolas ou hipérboles. Essa conclusão é derivada diretamente da solução da equação diferencial que rege o movimento orbital (STEWART, 2007, p. 877).

No contexto do sistema solar, a interação gravitacional entre o Sol e um planeta é predominante frente às influências de outros corpos celestes, o que legitima a modelagem do sistema como um problema de dois corpos. Para analisar cinematicamente o movimento planetário, adota-se um referencial com origem fixada no centro de massa solar. Neste sistema, a posição do planeta é descrita pelo vetor $\mathbf{r}(t)$, que é uma função do tempo. A partir dessa definição, obtém-se o vetor velocidade $\mathbf{v}(t)$ como a derivada primeira de $\mathbf{r}(t)$ em relação ao tempo ($\mathbf{v} = d\mathbf{r}/dt$) e o vetor aceleração $\mathbf{a}(t)$ como sua derivada segunda ($\mathbf{a} = d^2\mathbf{r}/dt^2$). Esta abordagem permite a aplicação formal das leis newtonianas ao problema orbital (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p. 90).

Segunda Lei do Movimento: $\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$

Lei da Gravitação Universal: $\mathbf{F} = -\frac{GMm}{r^3}\mathbf{r}$ ou $\mathbf{F} = -\frac{GMm}{r^2}\mathbf{u}$

Onde $\mathbf{F}$ é a força da gravidade sobre o planeta, m e M são as massas do planeta e do Sol, G é a constante gravitacional, $r = |\mathbf{r}|$, e $\mathbf{u} = (1/r)\mathbf{r}$ é o vetor unitário na direção radial $\mathbf{r}$.

A princípio, o planeta se move em um plano. Igualando a expressão para $\mathbf{F}$ nas duas leis de Newton, chegamos a: $\mathbf{a} = -\frac{GM}{r^3}\mathbf{r}$

E, portanto, $\mathbf{a}$ é antiparalelo a $\mathbf{r}$, uma vez que a força gravitacional é atrativa e aponta para o centro da elipse. Segue-se que $\mathbf{r} \times \mathbf{a} = \mathbf{0}$. Usando as regras de diferenciação,

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}(\mathbf{r} \times \mathbf{v}) &= \mathbf{r}' \times \mathbf{v} + \mathbf{r} \times \mathbf{v}' \\ &= \mathbf{v} \times \mathbf{v} + \mathbf{r} \times \mathbf{a} \\ &= \mathbf{0} + \mathbf{0} \\ &= \mathbf{0} \\ \frac{d}{dt}(\mathbf{r} \times \mathbf{v}) &= \mathbf{0}\end{aligned}$$

Ao considerarmos a órbita de um planeta em torno do Sol, podemos observar que o produto vetorial entre o vetor posição $\mathbf{r}$ e o vetor velocidade $\mathbf{v}$ é igual a um vetor constante $\mathbf{h}$ ($\mathbf{r} \times \mathbf{v} = \mathbf{h}$). Esse vetor $\mathbf{h}$ é conhecido como momento angular específico e é diferente de zero, pois a igualdade $\mathbf{r} \times \mathbf{v} = \mathbf{0}$ só ocorreria se $\mathbf{r}$ e $\mathbf{v}$ fossem paralelos ou se um deles fosse nulo. Em uma órbita, o vetor posição $\mathbf{r}$ nunca se anula, e a velocidade $\mathbf{v}$ não é paralela a $\mathbf{r}$ (já que $\mathbf{v}$ é a derivada de $\mathbf{r}$ e, em geral, não aponta na mesma direção que o vetor posição).

Sendo $\mathbf{h} \neq \mathbf{0}$, podemos concluir que o vetor $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ é sempre perpendicular ao vetor $\mathbf{h}$ em todos os instantes de tempo, o que significa que o planeta está sempre em um plano que passa pela origem e é perpendicular a $\mathbf{h}$. Essa característica da órbita implica que ela é uma curva plana, já que o movimento do planeta ocorre em um único plano.

Para provar a Primeira Lei de Kepler, vamos reescrever o vetor $\mathbf{h}$:

$$\mathbf{h} = \mathbf{r} \times \mathbf{v} = \mathbf{r} \times \mathbf{r}' = r\mathbf{u} \times (r\mathbf{u})'$$

$$\mathbf{h} = r\mathbf{u} \times (r\mathbf{u}' + r'\mathbf{u})$$

Como $\mathbf{a} \times (\mathbf{b} + \mathbf{c}) = \mathbf{a} \times \mathbf{b} + \mathbf{a} \times \mathbf{c}$, então:

$$\mathbf{h} = (r\mathbf{u} \times r\mathbf{u}') + (r\mathbf{u} \times r'\mathbf{u})$$

$$\mathbf{h} = r \cdot r(\mathbf{u} \times \mathbf{u}') + r \cdot r'(\mathbf{u} \times \mathbf{u})$$

Como $\mathbf{u} \times \mathbf{u} = \mathbf{0}$, então:

$$\mathbf{h} = r^2(\mathbf{u} \times \mathbf{u}')$$

Produto vetorial entre $\mathbf{a}$ e $\mathbf{h}$:

$$\mathbf{a} \times \mathbf{h} = -\frac{GM}{r^2} \mathbf{u} \times (r^2 \mathbf{u} \times \mathbf{u}')$$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{h} = -GM \mathbf{u} \times (\mathbf{u} \times \mathbf{u}')$$

Como $[\mathbf{a} \times (\mathbf{b} \times \mathbf{c}) = (\mathbf{a} \cdot \mathbf{c})\mathbf{b} - (\mathbf{a} \cdot \mathbf{b})\mathbf{c}]$, então:

Como $[\mathbf{a} \times (\mathbf{b} \times \mathbf{c}) = (\mathbf{a} \cdot \mathbf{c})\mathbf{b} - (\mathbf{a} \cdot \mathbf{b})\mathbf{c}]$, então:

$$\mathbf{a} \times \mathbf{h} = -GM \mathbf{u} \times (\mathbf{u} \times \mathbf{u}')$$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{h} = (-GM \mathbf{u} \cdot \mathbf{u}')\mathbf{u} - (-GM \mathbf{u} \cdot \mathbf{u})\mathbf{u}'$$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{h} = -GM(\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}')\mathbf{u} + GM(\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}) \cdot \mathbf{u}'$$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{h} = -GM[(\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}')\mathbf{u} - (\mathbf{u} \cdot \mathbf{u})\mathbf{u}']$$

Mas $\mathbf{u} \cdot \mathbf{u} = |\mathbf{u}|^2 = 1$ e como $|\mathbf{u}(t)| = 1$. Para continuar a demonstração, será provado que: se $|\mathbf{u}(t)| = 1$ (1 é uma constante), então $\mathbf{u}'(t)$ é ortogonal a $\mathbf{u}(t)$ para todo t . De fato, como $\mathbf{u}(t) \cdot \mathbf{u}(t) = |\mathbf{u}(t)|^2$ é uma constante, e tomando as regras de diferenciação para funções vetoriais, sabe-se que:

$$0 = \frac{d}{dt}[\mathbf{u}(t) \cdot \mathbf{u}(t)] = \mathbf{u}'(t) \cdot \mathbf{u}(t) + \mathbf{u}(t) \cdot \mathbf{u}'(t) = 2\mathbf{u}'(t) \cdot \mathbf{u}(t)$$

Então, $\mathbf{u}'(t) \cdot \mathbf{u}(t) = 0$, o que implica em $\mathbf{u}'(t)$ é ortogonal a $\mathbf{u}(t)$ para todo t .

Assim:

$$\mathbf{a} \times \mathbf{h} = -GM[(\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}')\mathbf{u} - (\mathbf{u} \cdot \mathbf{u})\mathbf{u}']$$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{h} = -GM[-(\mathbf{u} \cdot \mathbf{u})\mathbf{u}']$$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{h} = GM\mathbf{u}'$$

Pois $(\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}) = 1$. Então $(\mathbf{v} \times \mathbf{h})' = \mathbf{v}' \times \mathbf{h} + \mathbf{v} \times \mathbf{h}' = \mathbf{v}' \times \mathbf{h} = \mathbf{a} \times \mathbf{h} = GM\mathbf{u}' \Rightarrow (\mathbf{v} \times \mathbf{h})' = GM\mathbf{u}'$. Note que $\mathbf{v} \times \mathbf{h}' = 0$, pois $\mathbf{h}$ é um vetor constante. Integrando ambos os lados desta última equação, obtemos:

$$\int (\mathbf{v} \times \mathbf{h})' = \int GM\mathbf{u}'$$

$$\mathbf{v} \times \mathbf{h} = GM\mathbf{u} + \mathbf{c} \quad (\text{equação 1})$$

onde $\mathbf{c}$ é um vetor constante. Neste ponto é conveniente escolher os eixos coordenados de forma que o vetor base padrão $\mathbf{k}$ aponte na direção do vetor $\mathbf{h}$. O planeta se move assim no plano xy. Como $\mathbf{v} \times \mathbf{h} = \mathbf{0}$ e $\mathbf{u}$ são perpendiculares a $\mathbf{h}$, a equação (1) mostra que $\mathbf{c}$ pertence ao plano xy. Isso significa que podemos escolher os eixos x e y de forma que $\mathbf{i}$ (o vetor unitário da base cartesiana) esteja na direção de $\mathbf{c}$.

Da equação (1), temos:

$$\mathbf{r} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{h}) = \mathbf{r} \cdot (GM\mathbf{u} + \mathbf{c})$$

$$\mathbf{r} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{h}) = GM\mathbf{r} \cdot \mathbf{u} + \mathbf{r} \cdot \mathbf{c}$$

$$\mathbf{r} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{h}) = GM\mathbf{u} \cdot \mathbf{r} \cdot \mathbf{u} + \mathbf{r} \cdot \mathbf{c}$$

$$\mathbf{r} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{h}) = GMr \cdot \mathbf{u} \cdot \mathbf{u} + |\mathbf{r}||\mathbf{c}| \cos \theta$$

$$\mathbf{r} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{h}) = GMr + rc \cos \theta$$

Onde $c = |\mathbf{c}|$. Logo:

$$\begin{aligned} \mathbf{r} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{h}) &= r(GM + c \cos \theta) \\ r &= \frac{\mathbf{r} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{h})}{(GM + c \cos \theta)} = \frac{1}{GM} \frac{\mathbf{r} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{h})}{(1 + \frac{c}{GM} \cos \theta)} = \frac{1}{GM} \frac{\mathbf{r} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{h})}{1 + e \cos \theta} \end{aligned}$$

Onde $e = c/GM$. Como $[\mathbf{a} \cdot (\mathbf{b} \times \mathbf{c}) = (\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \cdot \mathbf{c}]$, logo,

$$\mathbf{r} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{h}) = (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \cdot \mathbf{h} = \mathbf{h} \cdot \mathbf{h} = |\mathbf{h}|^2 = h^2$$

Onde $h = |\mathbf{h}|$.

$$r = \frac{1}{GM} \frac{\mathbf{r} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{h})}{1 + e \cos \theta} = \frac{1}{GM} \frac{h^2}{1 + e \cos \theta} = \frac{h^2}{GM} \frac{1}{1 + e \cos \theta} = \frac{h^2/GM}{1 + e \cos \theta}$$

Mas $e = c/GM \Rightarrow GM = c/e$,

$$r = \frac{\frac{h^2}{c/e}}{(1 + e \cdot \cos \theta)}$$

Escrevendo $d = h^2/c$, obtemos a equação:

$$r = \frac{ed}{(1 + e \cdot \cos \theta)}$$

(equação 2)

A equação (2) é uma cônica na forma polar com foco na origem e excentricidade e . Sabemos que a órbita de um planeta é uma curva fechada e, portanto, precisa ser uma elipse (STEWART, 2007, p.877).

De acordo com a teoria das seções cônicas, um corpo em órbita ao redor de um corpo central descreve uma trajetória cônica cuja forma depende da excentricidade orbital. Para excentricidades menores que 1 ($e < 1$), a órbita é elíptica e o movimento é periódico. Para excentricidade igual a 1 ($e = 1$), a trajetória é parabólica, e para valores superiores a 1 ($e > 1$), hiperbólica – sendo estes dois últimos casos caracterizados por movimentos não periódicos e de escape do sistema gravitacional. Essas trajetórias abertas são típicas de cometas de longo período e corpos interestelares, os quais podem ser ejetados do sistema solar após uma única passagem pelo periélio" (CARROLL; OSTLIE, 2017, p. 147). A lei das órbitas elípticas, descoberta por Newton, é uma consequência da força gravitacional que atua entre os corpos celestes, como planetas e suas luas. Newton demonstrou que as únicas formas de órbitas possíveis para corpos que interagem gravitacionalmente são as seções cônicas: círculos, elipses, parábolas ou hipérboles. Cada tipo de órbita tem características específicas que dependem dos valores dos semieixos maior e menor da elipse. Se o movimento do corpo é periódico, como o dos planetas, sua órbita é circular ou elíptica. No entanto, se o movimento não é periódico, como o de alguns cometas e asteroides, sua órbita será

parabólica ou hiperbólica. Em resumo, as órbitas dos corpos celestes são determinadas pela força gravitacional e podem ser classificadas como círculos, elipses, parábolas ou hipérboles, dependendo das características da trajetória.

Em síntese, a natureza elíptica das órbitas planetárias é uma consequência direta do caráter atrativo e radial da força gravitacional, cuja intensidade decai com o quadrado da distância. Essa mesma lei física aplica-se igualmente a outros sistemas, como o movimento de satélites em torno da Terra. A dedução matemática realizada por Newton revela que as soluções para a equação de movimento sob tal força restringem-se às curvas cônicas, abrangendo circunferências, elipses, parábolas e hipérboles (NEWTON, 1687).

Do ponto de vista geométrico, uma elipse é definida pelos seus semieixos maior (a) e menor (b). Nessa representação, uma circunferência configura-se como um caso particular de elipse com excentricidade (e) nula e semieixos de medidas iguais ($a = b$). A parábola, por sua vez, pode ser interpretada como uma elipse de excentricidade unitária ($e = 1$) e semieixo maior infinitamente grande ($a \rightarrow \infty$). De modo análogo, a hipérbole corresponde a uma cônica com excentricidade superior à unidade ($e > 1$) e semieixo maior negativo ($a < 0$), o que implica em uma interpretação geométrica distinta (STEWART, 2007, p. 877).

Do ponto de vista dinâmico, o tipo de órbita está intrinsecamente ligado à energia mecânica do sistema. Corpos com energia total negativa, como planetas e satélites, descrevem trajetórias fechadas (circulares ou elípticas) e exibem movimento periódico. Por outro lado, corpos com energia total igual ou superior a zero, como certos cometas e asteroides de origem interestelar, possuem órbitas abertas (parabólicas ou hiperbólicas) e movimento não periódico, podendo escapar da influência gravitacional do corpo central (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p. 95).

3.3 SEGUNDA LEI DE KEPLER

A reta que liga um planeta ao Sol varre áreas iguais no plano da órbita em intervalos de tempo iguais. Matematicamente, isso significa que a taxa de varredura de área, dA/dt , é constante no tempo. Como será demonstrado a seguir, essa

constância é uma consequência direta do momento angular do planeta ser conservado, o que, por sua vez, decorre do torque da força gravitacional ser nulo.

A Segunda Lei de Kepler pode ser mostrada como sendo uma consequência da conservação do momento angular. Considere um planeta de massa m movendo-se ao redor do Sol em uma órbita elíptica. A ação da força gravitacional no planeta é sempre ao longo do vetor raio, direcionado para o Sol.

Quando uma força é dirigida para um ponto fixo e é uma função de r apenas, é chamada de **força central**. A ação do torque no planeta é claramente zero; isso porque $\mathbf{F}$ é paralelo a $\mathbf{r}$, assim:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{r} \times \mathbf{F} = \mathbf{r} \times F\hat{\mathbf{r}} = \mathbf{0}$$

Esse torque é igual a derivada do momento angular $\mathbf{L}$ em relação ao tempo t : $\boldsymbol{\tau} = d\mathbf{L}/dt$. Portanto, a força gravitacional exercida pelo Sol no planeta resulta em nenhum torque, logo o momento angular $\mathbf{L}$ do planeta é constante:

$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} = \mathbf{r} \times m\mathbf{v} = m\mathbf{r} \times \mathbf{v} = \text{constante}$$

Por $\mathbf{L}$ permanecer constante, o movimento do planeta em qualquer instante é restrito ao plano formado por $\mathbf{r}$ e $\mathbf{v}$.

Esta área é igual a metade $|\mathbf{r} \times d\mathbf{r}|$ do paralelogramo formado pelos vetores $\mathbf{r}$ e $d\mathbf{r}$. Pois o deslocamento do planeta em um tempo dt é $d\mathbf{r} = \mathbf{v}dt$.

$$dA = \frac{1}{2}|\mathbf{r} \times d\mathbf{r}| = \frac{1}{2}|\mathbf{r} \times \mathbf{v}dt| = \frac{L}{2m}dt$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{L}{2m} = \text{constante}$$

Onde L e m são constantes. Assim, concluímos que: o raio vetor do Sol para qualquer planeta varre áreas iguais em intervalos de tempos iguais.

Essa conclusão foi alcançada devido à natureza da força gravitacional, que é uma força central. Isso significa que o momento angular do planeta se mantém constante. Por essa razão, a lei das órbitas elípticas se aplica a qualquer situação que envolva uma força central, independentemente de ela seguir ou não o inverso do quadrado.

3.4 TERCEIRA LEI DE KEPLER

O quadrado do período de qualquer planeta é proporcional ao cubo do semieixo maior de sua órbita.

A Lei de Kepler, que é a terceira lei do movimento planetário, pode ser derivada da lei do inverso do quadrado para órbitas circulares. Isso é possível ao considerarmos um planeta de massa m orbitando em torno do Sol de massa M em uma órbita circular. Embora as órbitas dos planetas não sejam exatamente circulares, elas são aproximadamente circulares, variando de uma excentricidade de 0,007 para Vênus até 0,206 para Mercúrio (a excentricidade da Terra é de 0,017, ou seja, próxima de uma circunferência). Por essa razão, o semieixo maior de uma órbita planetária pode ser considerado como sendo o raio de uma circunferência.

Ao considerarmos que a força gravitacional é responsável pela aceleração centrípeta de um planeta em movimento circular, podemos modelá-lo como uma partícula sob ação de uma força resultante e também como uma partícula em movimento circular uniforme. Em outras palavras, a força gravitacional exercida pelo Sol sobre o planeta é radialmente direcionada ao Sol, mantendo-o em movimento circular. Assim, podemos aplicar a Segunda Lei de Newton (**$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$**)

$$\frac{GMm}{r^2} = ma$$

Percebendo que $a = v^2 / r$, pois a força gravitacional produz uma aceleração centrípeta no planeta.

$$\begin{aligned} \frac{GM}{r^2} &= \frac{v^2}{r} \\ v^2 &= \frac{GM}{r} \end{aligned}$$

Como o planeta se move uma distância $2\pi r$ no tempo T , sua rapidez está relacionada com o período por:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

Substituindo v por $2\pi r/T$ na equação:

$$\begin{aligned} \left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2 &= \frac{GM}{r} \\ \frac{4\pi^2 r^2}{T^2} &= \frac{GM}{r} \end{aligned}$$

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM} \right) r^3 = K_S r^3$$

Esta equação é a chamada Terceira Lei de Kepler. Onde $K_S = \left(\frac{4\pi^2}{GM} \right) = 2,97 \times 10^{-19} s^2/m^3$ é uma constante.

4 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO

O produto didático desenvolvido consiste em uma sequência didática elaborada para o ensino das Leis de Kepler no segundo ano do Ensino Médio, tendo como principal ferramenta o recurso educacional disponível no site https://scatena.sites.ufsc.br/astronomia/sistema_solar/index.xhtml. Este material foi concebido para ser interativo e acessível, utilizando informações completas e detalhadas sobre o Sistema Solar como base para as atividades.

A elaboração e a aplicação do produto foram estruturadas em cinco encontros de quarenta e cinco minutos, com uma abordagem que integrou atividades variadas. Os componentes principais da sequência didática incluíram:

1. Avaliação Diagnóstica e Formativa: Para analisar o conhecimento prévio dos alunos, um questionário inicial é aplicado. Além disso, no encerramento de cada aula, é aplicado um formulário de feedback anônimo, que deve ser devolvido no início da aula subsequente, servindo como indicador de engajamento e receptividade às atividades, mas não como medida de aprendizagem. Ao término do quinto encontro, um pós-questionário completo é aplicado para avaliar todos os tópicos abordados, sendo este o instrumento principal para verificação de ganhos cognitivos

2. Atividades em Sala de Aula: As atividades são planejadas para incluir uma variedade de recursos e abordagens. São utilizados exercícios sobre o tema, uso das simulações presentes no site, e a exploração de outras ferramentas, como vídeos e apresentações de imagens, que auxiliam na visualização e compreensão dos planetas e outros corpos celestes.

3. Aulas e Momentos Pedagógicos: A sequência didática foi planejada para se desenvolver ao longo de cinco encontros, com cada aula detalhando objetivos, conteúdos, recursos e um plano de desenvolvimento. A estrutura pedagógica implementa os Três Momentos Pedagógicos, conforme detalhado em quadros

específicos, para guiar a condução das aulas. O produto didático, portanto, foi concebido como uma ferramenta versátil e acessível, compatível com diversos dispositivos, que permite aos estudantes e ao professor explorar o tema da astronomia de forma estruturada e avaliativa, partindo da sondagem inicial até a avaliação final dos conceitos.

A seguir são exibidos os planos de aula relativos a cada um dos encontros citados.

4.1 ENCONTRO 1

QUADRO 1 - PLANO DE AULA (AULA 1)

Dados de Identificação: Escola: Professor: Disciplina: Física Série/Turma: Trimestre:
Tema: • Astronomia • Leis de Kepler - Introdução
Objetivo: • Despertar o interesse pela astronomia: mostrar aos alunos que a astronomia é uma ciência fascinante, repleta de curiosidades e mistérios, de forma a estimular o interesse e a curiosidade dos estudantes pelo assunto. • Fazer um levantamento dos conhecimentos prévios (Aplicação do questionário); • Introdução a Astronomia • Apresentar os modelos geocêntrico e heliocêntrico no contexto histórico. • Descrever o movimento planetário ao redor do Sol. • Apresentação do site. https://scatena.sites.ufsc.br/astrologia/sistema_solar/index.shtml
Recursos: • Livros texto, projetor multimídia, vídeos e imagens, simulações com o software.
Cronograma: Aula de 45 minutos: • Introdução - 10 minutos (questionar os alunos sobre o seu conhecimento prévio em relação à astronomia) • Vídeo 1 - 4 minutos. • Introdução - 10 minutos (Questionar os alunos sobre o seu conhecimento em relação aos modelos geocêntrico e heliocêntrico) • Vídeo 2 - 4 minutos. • Apresentação do site - Momento para apresentação da ferramenta • Atividade 1 - Órbitas planetárias - 15 minutos. • Pergunta para obter feedback dos alunos ao término de cada aula

FONTE: AUTOR

TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Os 3 Momentos Pedagógicos serão implementados conforme o quadro a seguir:

QUADRO 2 – OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS ENCONTRO 1

Os 3 Momentos Pedagógicos	Atividade
1º- Problematização inicial	Sugestão: Formar grupos de 4 alunos. Fazer perguntas aos alunos sobre o sistema solar, os planetas e os movimentos celestes para ativar seu conhecimento prévio. Questionar os alunos sobre seu conhecimento em relação aos modelos geocêntrico e heliocêntrico. Promover uma discussão em grupo, incentivando os alunos a compartilharem o que já sabem e a levantarem questões. Utilizar recursos visuais (imagens, vídeos) para introduzir os conceitos básicos e situar o problema.
2º - Organização do conhecimento	Neste primeiro encontro, a organização do conhecimento se dá de forma introdutória, associada à apresentação do simulador. O estudo mais sistemático das Leis de Kepler ocorrerá nos encontros seguintes. Apresentação do site e explicação introdutória sobre seu funcionamento.
3º - Aplicação do conhecimento	Formar grupos de 4 alunos (ou conforme os recursos disponíveis). Realização da Atividade 1 - Órbitas planetárias , explorando o simulador com o objetivo de familiarização e observação inicial. O foco é colocar em prática os conhecimentos iniciais, promovendo a autonomia e a investigação.

FONTE: AUTOR

4.2 ENCONTRO 2

QUADRO 3 - PLANO DE AULA (AULA 2)

Dados de Identificação: Escola: Professor: Disciplina: Física Série/Turma: Trimestre:
Tema: • Astronomia • 1ª Lei de Kepler
Objetivos: • Promover a compreensão dos principais conceitos iniciais para o aprendizado da primeira Lei de Kepler. • Entender o conceito de órbita elíptica e como ela é diferente de outras formas de órbita. • Saber identificar as principais características da elipse, como os focos, eixo maior e eixo menor, e como elas são relacionadas à órbita.
Desenvolvimento do Tema: Apresentação: • Apresentação de um vídeo para a introdução, está em: https://www.youtube.com/watch?v=iEr39Gg4VcQ (Vídeo 1) • Explicação sobre o tema abordado • Utilização do site.
Recursos: • Livros texto, projetor multimídia, vídeos e imagens, simulações com o software.
Cronograma: Aula de 45 minutos: • Vídeo 1 - 4 minutos. • Explicação - 10 minutos. • Atividade 2 - Responder às questões usando O simulador do Sistema Solar. (30 minutos) • Pergunta para obter feedback dos alunos ao término de cada aula

FONTE: AUTOR

TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Os 3 Momentos Pedagógicos serão implementados conforme o quadro a seguir:

QUADRO 4 – OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS ENCONTRO 2

Os 3 Momentos Pedagógicos	Atividade
1º- Problematização Inicial	Sugestão: Formar grupos de 4 alunos. Fazer perguntas para ativar conhecimentos prévios: "Você já ouviu falar sobre a trajetória dos planetas ao redor do Sol? Como você descreveria essa trajetória?" Questionar os alunos sobre a 1ª Lei de Kepler. Promover discussão em grupo, incentivando os alunos a compartilharem suas ideias e a levantarem questões sobre a forma das órbitas.
2º - Organização do Conhecimento	Apresentação teórica (com slides e desenho no quadro) sobre a 1ª Lei de Kepler, definindo os elementos de uma elipse (focos, eixos, excentricidade). Relacionar a lei com o modelo heliocêntrico e a força gravitacional.
3º - Aplicação do Conhecimento	Formar grupos de 4 alunos (ou conforme recursos disponíveis). Realização da Atividade 2 usando o simulador, respondendo às questões sobre a elipse e a 1ª Lei. Manipulação dos parâmetros orbitais (excentricidade, semieixo maior) para visualizar as diferentes formas de elipses.

FONTE: AUTOR

4.3 ENCONTRO 3

QUADRO 5 - PLANO DE AULA (AULA 3)

Dados de Identificação: Escola: Professor: Disciplina: Física Série/Turma: Trimestre:
Tema: • Astronomia • 2ª Lei de Kepler
Objetivos: • Propiciar o entendimento que velocidade orbital de um planeta não é constante, mas varia de acordo com a posição do planeta em sua órbita. • Compreender o movimento dos planetas em suas órbitas elípticas e a relação entre a velocidade e a área varrida pela reta Sol-planeta • Aplicar a segunda lei de Kepler utilizando o site. • Mostrar que a velocidade de um planeta varia em diferentes partes de sua órbita. • Descrever a relação entre a velocidade do planeta em sua órbita e a área que ele varre em um determinado período.
Desenvolvimento do Tema: Apresentação: • Explicação do assunto. • Utilização do site.
Recursos: • Livros texto, projetor multimídia, vídeos e imagens, simulações com o software.
Cronograma: Aula de 45 minutos: • Explicação - 10 minutos. • Atividade 3 (Discutir os momentos pedagógicos, todas as etapas) - Responder às questões usando O simulador do Sistema Solar 35 minutos • Pergunta para obter feedback dos alunos ao término de cada aula

FONTE: AUTOR

TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Os 3 Momentos Pedagógicos serão implementados conforme o quadro a seguir:

QUADRO 6 – OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS ENCONTRO 3

Os 3 Momentos Pedagógicos	Atividade
1º- Problematização Inicial	Sugestão: Formar grupos de 4 alunos. Fazer perguntas para ativar conhecimentos prévios: "O que você sabe sobre a velocidade dos planetas em diferentes pontos de suas órbitas? Eles se movem com a mesma velocidade? Quando um planeta está mais próximo do Sol, ele se move mais rápido ou mais devagar?" Questionar os alunos sobre a 2ª Lei de Kepler. Promover discussão em grupo, incentivando os alunos a levantarem hipóteses sobre a relação entre velocidade e posição na órbita.
2º - Organização do Conhecimento	Apresentação teórica (com slides) sobre a 2ª Lei de Kepler, explicando o conceito de áreas iguais em tempos iguais. Relacionar a variação da velocidade orbital com a conservação do momento angular.
3º - Aplicação do Conhecimento	Formar grupos de 4 alunos (ou conforme recursos disponíveis). Realização da Atividade 3 usando o simulador, respondendo às questões sobre a 2ª Lei. Utilizar a ferramenta de varredura de área para visualizar a constância de áreas em intervalos iguais.

FONTE: AUTOR

4.4 ENCONTRO 4

QUADRO 7 - PLANO DE AULA (AULA 4)

Dados de Identificação: Escola: Professor: Disciplina: Física Série/Turma: Trimestre:
Tema: • Astronomia • 3ª Lei de Kepler
Objetivos: • Compreender a relação entre o período orbital e o raio médio de órbita de um planeta. • Desenvolver habilidades de observação e análise de dados, bem como habilidades matemáticas para aplicação das fórmulas envolvidas na lei. • Utilizar fórmulas matemáticas para calcular o período e o raio médio de órbita de um planeta.
Desenvolvimento do Tema: Apresentação: • Explicação do assunto. • Utilização do site.
Recursos: • Livros texto, projetor multimídia, vídeos e imagens, simulações com o software.
Cronograma: Aula de 45 minutos: • Explicação - 10 minutos. • Atividade 4 - Responder às questões usando O simulador do Sistema Solar 35 minutos • Ao término da aula os alunos serão instigados a trazer para a última aula perguntas, fatos, fenômenos relacionados às leis de Kepler e astronomia. • Pergunta para obter feedback dos alunos ao término de cada aula

FONTE: AUTOR

TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Os 3 Momentos Pedagógicos serão implementados conforme o quadro a seguir:

QUADRO 8 – OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS ENCONTRO 4

Os 3 Momentos Pedagógicos	Atividade
1º- Problematização Inicial	Sugestão: Formar grupos de 4 alunos Fazer perguntas aos alunos, por exemplo: <i>Você já ouviu falar sobre o período orbital dos planetas? O que você entende por período orbital?</i> <i>Existe alguma relação entre o tempo que um planeta leva para dar uma volta completa ao redor do Sol e sua distância média ao Sol? Por quê?</i> Questionar os alunos sobre o seu conhecimento em relação a 3ª lei de Kepler. Promover uma discussão em grupo, incentivando os alunos a compartilharem o que já sabem sobre o assunto.
2º - Organização do Conhecimento	Utilizar recursos visuais, como imagens ou vídeos, para introduzir os conceitos básicos relacionados à 3ª Lei de Kepler. Os estudantes são incentivados a levantar questões, identificar problemas e desafios relacionados ao assunto em estudo. Exemplos: <i>Coleta de dados precisos: Para aplicar a terceira lei de Kepler, é necessário obter dados precisos sobre o período orbital e o raio médio da órbita de um planeta. No entanto, pode ser desafiador coletar esses dados com precisão, especialmente para planetas distantes ou objetos celestes com órbitas complexas.</i> <i>Interferência de outros corpos celestes: A aplicação da terceira lei de Kepler presume uma órbita puramente elíptica e desconsidera a influência de outros corpos celestes. No entanto, em sistemas com múltiplos corpos interagindo, como planetas orbitando uma estrela, a presença de outros corpos pode afetar as órbitas e introduzir complicações na aplicação da lei.</i> <i>Variações na órbita ao longo do tempo: A terceira lei de Kepler assume que a órbita de um planeta é estável e não sofre variações significativas ao longo do tempo. No entanto, fatores como perturbações gravitacionais, influência de outras estrelas ou até mesmo alterações nas propriedades do próprio planeta podem levar a variações nas órbitas, o que pode dificultar a aplicação direta da lei.</i>
3º - Aplicação do Conhecimento	• Formar grupos de 4 alunos (Pode variar de acordo com os recursos tecnológicos disponíveis na escola) • Aplicação do simulador. • O objetivo é colocar em prática os conhecimentos adquiridos, promovendo a autonomia e a responsabilidade dos estudantes em relação ao seu aprendizado. • Atividade 4 - Responder as questões com base no simulador.

FONTE: AUTOR

4.5 ENCONTRO 5

QUADRO 9 - PLANO DE AULA (AULA 5)

Dados de Identificação: Escola: Professor: Disciplina: Física Série/Turma: Trimestre:
Tema: • Astronomia • Leis de Kepler
Objetivos: • Compreender as leis de Kepler e suas aplicações na astronomia.
Desenvolvimento do Tema: Apresentação: • Discussão sobre os temas abordados até o momento.
Recursos: • Livros texto, projetor multimídia, vídeos e imagens, simulações com o software.
Cronograma: Aula de 45 minutos: • Aula interativa - Discussão das aplicações das Leis de Kepler • Aplicação do pós- questionário • Entrega do formulário para obter um feedback - Devolução, próxima aula.

FONTE: AUTOR

TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Os 3 Momentos Pedagógicos serão implementados conforme o quadro a seguir:

QUADRO 10 – OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS ENCONTRO 5

Os 3 Momentos Pedagógicos	Atividade
1º- Problematização Inicial	• Sugestão: Formar grupos de 4 alunos • Fazer perguntas aos alunos sobre os tópicos abordados nas aulas anteriores. • Questionar os alunos sobre o seu conhecimento em relação a influência da lua. • Promover uma discussão em grupo, incentivando os alunos a compartilharem o que já sabem sobre o assunto.
2º - Organização do Conhecimento	• Fases da Lua: https://www.youtube.com/watch?v=9assH7vU-Jw. • A importância da lua para a terra: https://www.youtube.com/watch?v=tl7KNpfkMAo. • Super lua: https://www.youtube.com/watch?v=XeKi3Rcd8uE. • Satélite Geoestacionário: https://www.youtube.com/watch?v=GRwSmYmaQTI. • Os estudantes são incentivados a levantar questões, identificar problemas e desafios relacionados ao assunto em estudo.
3º - Aplicação do Conhecimento	• O objetivo é ajudar os estudantes a se tornarem mais independentes e responsáveis pelo próprio aprendizado, aplicando o que aprenderam.

FONTE: AUTOR

5 RELATO DE APLICAÇÃO DO PRODUTO

A aplicação do produto didático ocorreu em cinco encontros com turmas do segundo ano do Ensino Médio, utilizando o simulador *Sistema Solar Galileu* como recurso central. A sequência, fundamentada na Aprendizagem Significativa de Ausubel e nos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov, integrou atividades teóricas e práticas para abordar as Leis de Kepler.

5.1 INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

A aplicação do produto educacional ocorreu ao longo de cinco encontros, realizados em outubro de 2024, na Escola Estadual de Educação Básica (EEB) Hercílio Deeke. Envolveram-se três turmas do segundo ano do Ensino Médio: uma turma vespertina (204) e duas turmas noturnas (201 e 202). O processo iniciou-se com a aplicação de um questionário diagnóstico (disponível no Apêndice A), instrumento essencial para identificar as concepções iniciais, ideias e possíveis equívocos dos alunos sobre astronomia e as Leis de Kepler. A partir das respostas (cuja análise detalhada encontra-se na Seção 6.1), obteve-se uma visão geral fundamental para ajustar a abordagem. Por exemplo, o alto índice de equívocos sobre o movimento de translação e o conceito de eclipse nas turmas noturnas (ver Tabela 1) demandou que, na introdução dos modelos geocêntrico e heliocêntrico, fossem dedicados momentos adicionais para a discussão e correção dessas concepções alternativas. Isso garantiu que a introdução dos novos conceitos fosse efetivamente significativa, ancorando-os em uma base mais sólida de compreensão.

Na sequência, os alunos foram introduzidos aos modelos geocêntrico e heliocêntrico, contextualizados historicamente por meio de recursos multimídia, como vídeos curtos e apresentações em slides. Este momento foi crucial para desconstruir visões simplistas e apresentar a evolução do pensamento científico sobre o universo. Como culminância desta fase introdutória e como elemento de transição para o cerne da investigação, os alunos foram apresentados ao simulador interativo *Sistema Solar Galileu* (SCATENA, 2023), ferramenta online que serviu como o principal laboratório virtual para a exploração prática dos fenômenos astronômicos.

Os encontros subsequentes foram dedicados à investigação profunda de cada uma das três Leis de Kepler. Em cada um deles, a estrutura seguiu uma lógica pedagógica consistente: partia-se da contextualização e problematização de ideias, passava-se pela conceitualização teórica apoiada pelo simulador e chegava-se à aplicação do conhecimento em atividades práticas guiadas. O simulador permitiu que os alunos visualisassem, de forma concreta e manipulável, conceitos abstratos como órbitas elípticas, variação de velocidade orbital e a relação entre período e distância.

Para avaliar a eficácia da abordagem e a compreensão dos alunos, foram utilizados instrumentos de coleta contínua. Além do questionário inicial, ao final de cada encontro foi aplicado um breve questionário de feedback, permitindo um acompanhamento formativo e ajustes em tempo real. Ao término do quinto e último encontro, um pós-questionário foi aplicado para avaliar a consolidação geral da aprendizagem e a percepção dos alunos sobre a sequência didática como um todo.

Este relato, portanto, tem como objetivo descrever e analisar detalhadamente todo esse processo de aplicação do produto educacional – desde o seu planejamento, fundamentado na teoria de Ausubel e na metodologia dos três momentos pedagógicos, até o seu desenvolvimento em sala de aula, com todos os seus desafios, resultados e reflexões, oferecendo um panorama completo dessa experiência de ensino.

5.2 PLANEJAMENTO DAS AULAS

A sequência didática sobre astronomia e Leis de Kepler foi concebida com o propósito de introduzir os conceitos fundamentais desta área da física de modo significativo, tomando como eixo central o simulador *Sistema Solar Galileu* (SCATENA, 2023). O planejamento geral orientou-se pela articulação entre a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e a estrutura dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov, visando promover uma progressão lógica e cumulativa do conhecimento, sempre ancorada na integração entre teoria e prática. Para tanto, cada encontro foi organizado em três momentos didáticos distintos: a Contextualização, voltada à ativação de conhecimentos prévios; a Problematização, com a introdução de novos conceitos por meio de desafios investigativos; e a Aplicação, na qual o simulador foi utilizado como ferramenta de experimentação e consolidação das aprendizagens.

Visando operacionalizar essa abordagem, foram selecionados recursos didáticos complementares de uso transversal ao longo dos cinco encontros. Dentre eles, destacam-se: questionários para avaliação diagnóstica (pré-questionário), formativa (feedback ao final de cada aula) e somativa (pós-questionário); projeção multimídia e apresentações em slides para apoio às explanações teóricas; vídeos

didáticos curtos, empregados como organizadores prévios para contextualização histórica e motivação; e o laboratório de informática, ambiente dedicado às atividades práticas com o simulador. O *Sistema Solar Galileu* constituiu-se como recurso tecnológico central, presente em quatro dos cinco encontros, funcionando simultaneamente como objeto de aprendizagem e laboratório virtual para investigação autônoma e colaborativa.

A progressão dos encontros foi cuidadosamente planejada, iniciando-se, no Encontro 1, com a aplicação de um questionário diagnóstico. Este instrumento revelou-se fundamental para mapear as concepções iniciais, ideias e equívocos dos alunos acerca da astronomia, fornecendo subsídios essenciais para o ajuste fino do nível de profundidade e da abordagem adotada nos encontros subsequentes. O engajamento discente durante essa etapa inicial, documentado nas Figuras 3, 4 e 5, atestou a relevância da sondagem inicial para ancoragem dos novos conhecimentos em estruturas cognitivas pré-existentes.

Figura 3 – Alunos do segundo ano noturno respondendo ao questionário de conhecimentos prévios.



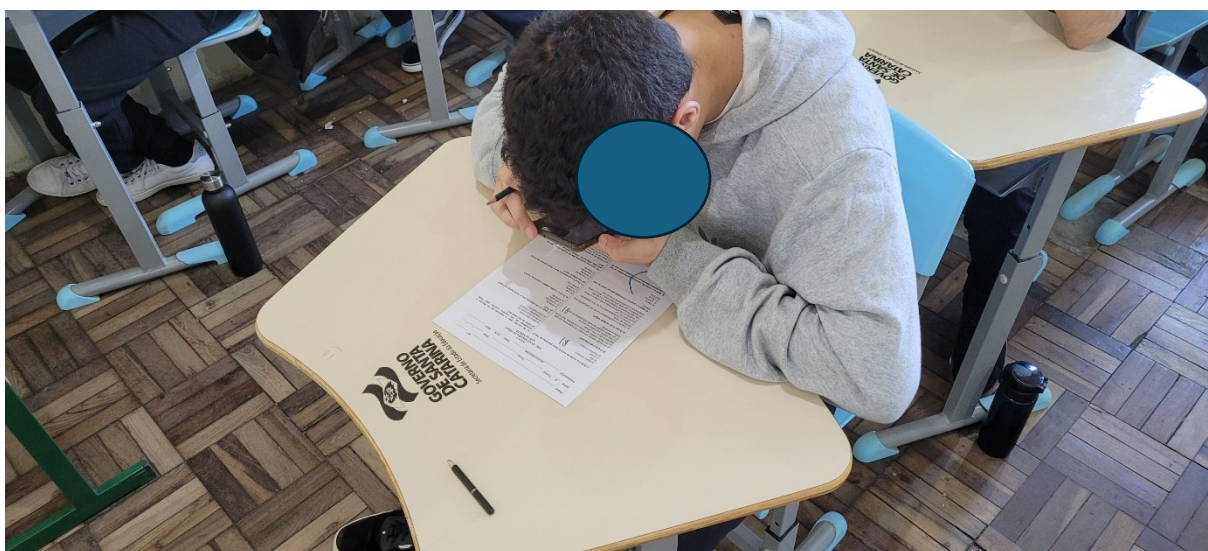
Fonte: Autor

Figura 4 – Alunos do segundo ano vespertino respondendo ao questionário de conhecimentos prévios.



Fonte: Autor

Figura 5 – Aluno do segundo ano vespertino respondendo ao questionário de conhecimentos prévios.



Fonte: Autor

Na sequência do Encontro 1, ainda como parte do planejamento introdutório, foi dada a introdução aos modelos geocêntrico e heliocêntrico, contextualizando-os historicamente. Para facilitar a compreensão e manter o engajamento, recursos multimídia, como vídeos curtos, foram utilizados para ilustrar a evolução desses modelos. A Figura 6 documenta este momento de apresentação teórica inicial.

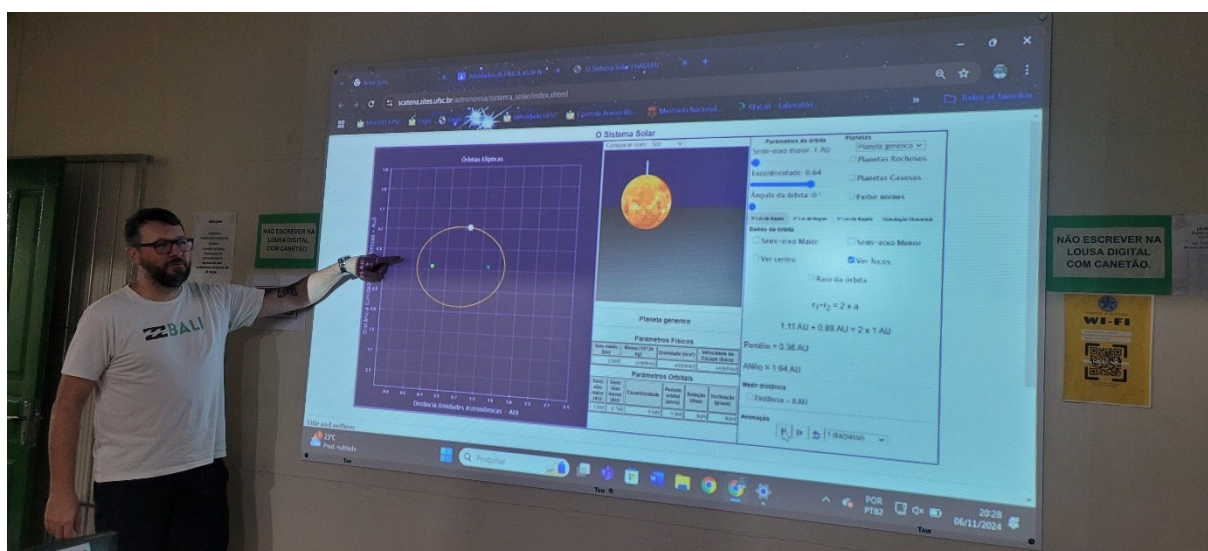
Figura 6 – Introdução a astronomia



Fonte: Autor

O ponto culminante do planejamento do primeiro encontro, e que serviu de ponte para os demais, foi a apresentação do simulador interativo (Figura 7). Este recurso foi planejado para ser a ferramenta de apoio visual e prática que permitiria aos alunos terem uma experiência imersiva próxima ao conteúdo teórico, visualizando de forma dinâmica o movimento dos corpos celestes.

Figura 7 – Apresentação do simulador

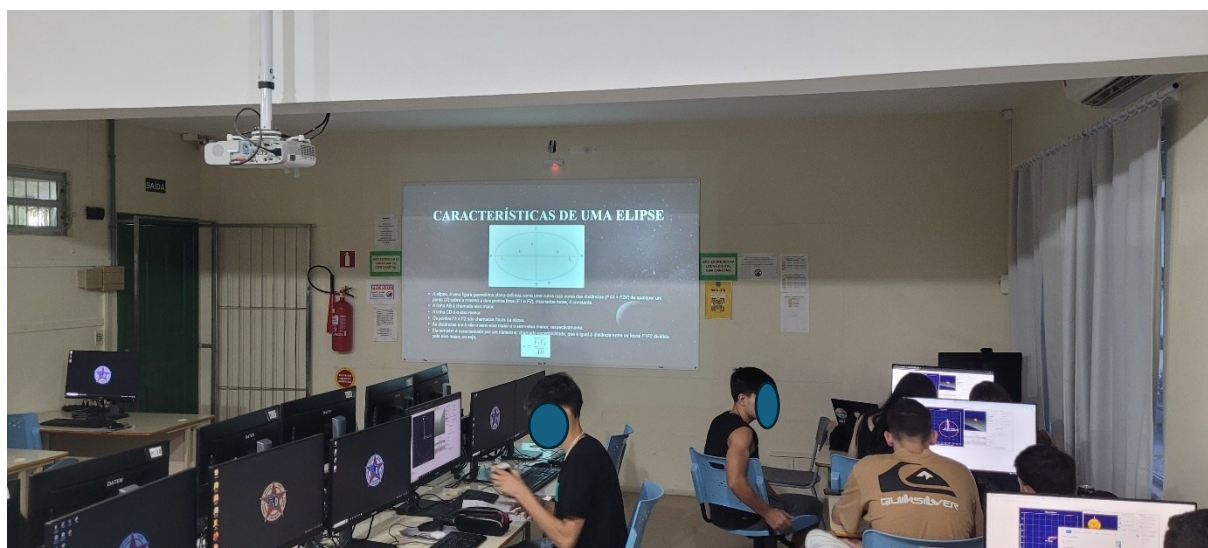


Fonte: Autor

Os Encontros 2, 3 e 4 foram planejados para investigar, respectivamente, cada uma das Leis de Kepler. O planejamento seguiu a mesma lógica de estruturação (Contextualização, Problematização, Aplicação), mas com objetivos de aprendizagem muito específicos.

No encontro 2 (1ª Lei - Lei das Órbitas): O planejamento focou em superar a concepção alternativa de órbitas circulares. A atividade prática com o simulador foi desenhada para guiar os alunos na manipulação da excentricidade das órbitas, permitindo-lhes visualizar e concluir sobre sua natureza elíptica. Abaixo segue Figura 8, apresentação das características de uma elipse.

Figura 8 – Apresentação características de uma elipse



Fonte: Autor

No encontro 3 (2ª Lei - Lei das Áreas): Este foi o encontro que demandou maior abstração. O planejamento da atividade prática foi centrado em usar o simulador para visualizar a velocidade do planeta em diferentes pontos da órbita, problematizando a ideia de velocidade constante e levando à compreensão do conceito de "áreas varridas iguais em tempos iguais". Abaixo, segue Figura 9, referente ao encontro.

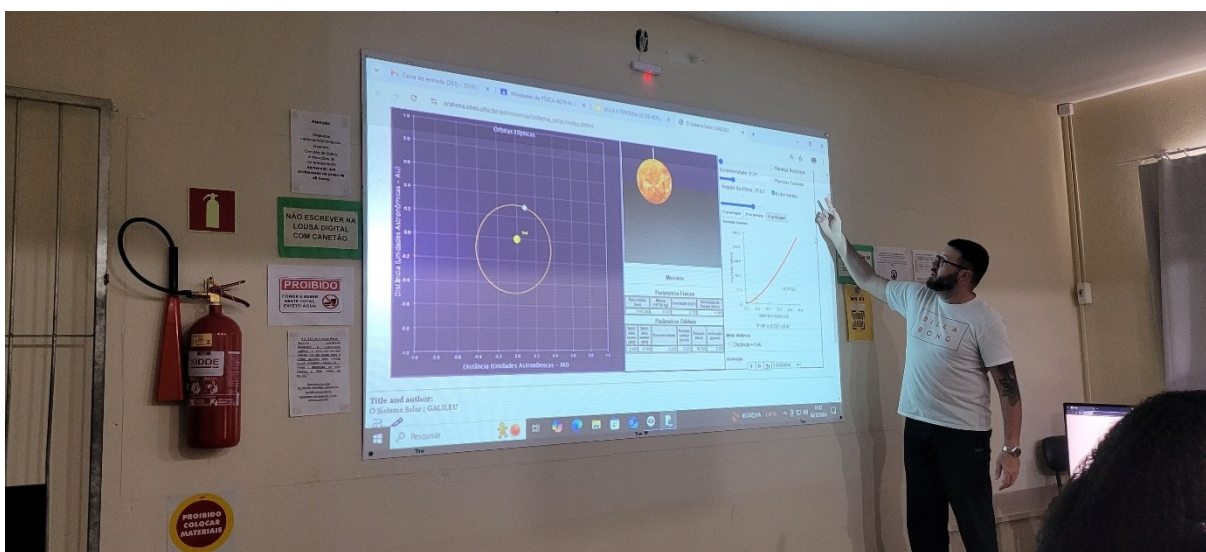
Figura 9 – Apresentação segunda lei de Kepler



Fonte: Autor

No encontro 4 (3ª Lei - Lei dos Períodos): O planejamento aqui teve um caráter mais matemático e de análise de dados. A atividade com o simulador foi estruturada para que os alunos coletassem dados de período orbital e semieixo maior de diferentes planetas, tabulassem esses dados e descobrissem por si mesmos a relação matemática constante expressa pela lei. Abaixo, segue Figura 10, referente ao encontro

Figura 10: Terceira Lei de Kepler com uso do simulador



Fonte: Autor

Finalmente, o Encontro 5 foi planejado como uma sessão de consolidação e síntese. Diferente dos anteriores, o foco não era uma nova lei, mas a aplicação integrada do conhecimento adquirido para explicar fenômenos astronômicos reais e cotidianos (como as fases da Lua e os satélites geoestacionários), fechando o ciclo da aprendizagem significativa. O planejamento também incluiu a aplicação do pós-questionário para avaliação final.

5.3 DESENVOLVIMENTO DAS AULAS

A sequência didática foi planejada em cinco encontros, cada um com objetivos e atividades específicas voltadas para a introdução e aprofundamento dos conceitos astronômicos, com base na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. As aulas foram desenvolvidas com três turmas do segundo ano do ensino médio: 204 (vespertino), 201 e 202 (noturno).

5.3.1 ENCONTRO 1

A aula começou com a aplicação de um questionário diagnóstico, que foi essencial para identificar as ideias prévias dos alunos sobre o universo e a astronomia. A partir das respostas, consegui uma visão geral das concepções que eles já possuíam, o que me permitiu ajustar a introdução dos conceitos e trabalhar possíveis equívocos de forma direcionada.

Após o questionário, iniciei a apresentação teórica sobre galáxias e estruturas do universo. Para isso, utilizei o conjunto de slides 'Aula 1 – Introdução à Astronomia' (disponível no Apêndice A, p. 98), complementando a exposição com dois vídeos explicativos (links de acesso disponíveis no mesmo Apêndice, p. 98): um sobre a formação e classificação de galáxias e outro sobre escalas de tamanho no universo. O primeiro vídeo exibido foi uma introdução sobre as galáxias, descrevendo-as como grandes estruturas formadas por corpos celestes, incluindo estrelas, planetas, gás cósmico e poeira. Esse vídeo destacou como esses elementos, unidos pela ação da gravidade, formam agrupamentos estáveis no espaço. Também abordou a Via Láctea, nossa galáxia, onde o sistema solar está

localizado, proporcionando uma visão ampliada e instigante sobre a nossa posição no universo. Esse conteúdo foi importante para que os alunos pudessem entender a organização de corpos celestes em galáxias e situar o sistema solar dentro dessa estrutura cósmica.

O segundo vídeo trouxe uma comparação visual das escalas de tamanho no universo, demonstrando a imensa diferença de proporções entre planetas, estrelas, galáxias e outras estruturas cósmicas. Essa abordagem visual foi impactante para os alunos, pois proporcionou uma noção mais realista das distâncias e tamanhos envolvidos no estudo da astronomia. Além de reforçar o entendimento sobre a grandiosidade do universo, esse vídeo ajudou os alunos a compreender a insignificância relativa do planeta Terra em comparação com a vastidão espacial, despertando fascínio e incentivando questionamentos sobre o nosso lugar no cosmos.

Após a exibição dos vídeos, os alunos puderam explorar um simulador interativo do sistema solar, onde visualizaram o movimento dos planetas e a disposição dos corpos celestes. Esse recurso foi essencial para consolidar os conceitos apresentados e para proporcionar uma experiência prática que tornasse os conceitos teóricos mais tangíveis. A interação com o simulador reforçou a visualização dos movimentos planetários e permitiu que os alunos aplicassem os conceitos de forma prática e visual.

Ao longo das atividades, incentivei os alunos a participarem e a expressarem suas impressões e dúvidas. As perguntas e comentários feitos durante a aula revelaram um alto nível de engajamento, o que indicou que os recursos utilizados (slides, vídeos e simulador) cumpriram seu papel de forma eficaz, facilitando a compreensão e promovendo o interesse pelo tema.

Abaixo, figuras 11 e 12 referentes ao pré questionário.

Figura 11: Pré questionário realizado por um aluno da 2º 2

Nome: [REDACTED] N.º: _____

Série: 2ª Turma: 2º 2 Turno: Noturno Data: 30/10/24

Professor(a): GILSON KIENEN Valor: 10,00 Nota: _____

AULA 1
PRÉ - QUESTIONÁRIO DE FÍSICA
LEIS DE KEPLER

1) Qual é o nome da estrela mais próxima da Terra?

a) Alpha Centauri
☒ b) Sol
 c) Sirius
 d) Proxima Centauri

2) O que é um planeta?

a) Um corpo celeste composto principalmente por gás.
☒ b) Um objeto celeste que orbita uma estrela, tem forma esférica e não é uma estrela.
 c) Uma estrela que emite luz própria.
 d) Um objeto celeste formado principalmente por rochas e minerais.

3) O que é um eclipse solar?

☒ a) Quando a Lua bloqueia a luz do Sol, projetando sua sombra na Terra.
 b) Quando a Terra bloqueia a luz do Sol, projetando sua sombra na Lua.
 c) Quando a Lua está alinhada entre o Sol e a Terra, mas não bloqueia completamente a luz do Sol.
 d) Quando a Lua está alinhada entre o Sol e a Terra, bloqueando completamente a luz do Sol.

4) Qual é o planeta conhecido por ter anéis ao seu redor?

a) Marte
☒ b) Saturno
 c) Vênus
 d) Urano

5) Qual é o nome do cientista que formulou as leis do movimento planetário conhecidas como leis de Kepler?

a) Isaac Newton
☒ b) Johannes Kepler
 c) Galileu Galilei
 d) Albert Einstein

6) De acordo com a segunda lei de Kepler, a velocidade de um planeta quando está mais próximo do Sol, será de?

☒ a) Maior velocidade
 b) Menor velocidade
 c) Velocidade constante
 d) Velocidade zero

7) Qual é o movimento que a Terra realiza ao redor do Sol?

a) Rotação
☒ b) Translação
 c) Oscilação
 d) Reflexão

8) Qual é o único satélite natural da Terra?

☒ a) Lua
 b) Marte
 c) Vênus
 d) Mercúrio

9) Qual é o movimento que a Terra realiza em torno de seu próprio eixo?

a) Translação
☒ b) Rotação
 c) Oscilação
 d) Reflexão

10) Qual das seguintes leis de Kepler afirma que os planetas descrevem órbitas elípticas ao redor do Sol?

☒ a) Primeira lei de Kepler
 b) Segunda lei de Kepler
 c) Terceira lei de Kepler
 d) Nenhuma das anteriores

Fonte: Autor

Figura 12: Pré questionário realizado por um aluno da 2º 2

Nome: [REDACTED] N.º: _____

Série: 2ª Turma: 2 Turno: Noturno Data: 30 / 10 / 24

Professor(a): GILSON KIENEN Valor: 10,00 Nota: _____

AULA 1
PRÉ - QUESTIONÁRIO DE FÍSICA
LEIS DE KEPLER

1) Qual é o nome da estrela mais próxima da Terra?

a) Alpha Centauri
☒ b) Sol
 c) Sirius
 d) Próxima Centauri

2) O que é um planeta?

a) Um corpo celeste composto principalmente por gás.
 b) Um objeto celeste que orbita uma estrela, tem forma esférica e não é uma estrela.
 c) Uma estrela que emite luz própria.
☒ d) Um objeto celeste formado principalmente por rochas e minerais.

3) O que é um eclipse solar?

☒ a) Quando a Lua bloqueia a luz do Sol, projetando sua sombra na Terra.
 b) Quando a Terra bloqueia a luz do Sol, projetando sua sombra na Lua.
 c) Quando a Lua está alinhada entre o Sol e a Terra, mas não bloqueia completamente a luz do Sol.
 d) Quando a Lua está alinhada entre o Sol e a Terra, bloqueando completamente a luz do Sol.

4) Qual é o planeta conhecido por ter anéis ao seu redor?

a) Marte
☒ b) Saturno
 c) Vênus
 d) Urano

5) Qual é o nome do cientista que formulou as leis do movimento planetário conhecidas como leis de Kepler?

a) Isaac Newton
 b) Johannes Kepler
☒ c) Galileu Galilei
 d) Albert Einstein

6) De acordo com a segunda lei de Kepler, a velocidade de um planeta quando está mais próximo do Sol, será de?

☒ a) Maior velocidade
 b) Menor velocidade
 c) Velocidade constante
 d) Velocidade zero

7) Qual é o movimento que a Terra realiza ao redor do Sol?

☒ a) Rotação
 b) Translação
 c) Oscilação
 d) Reflexão

8) Qual é o único satélite natural da Terra?

☒ a) Lua
 b) Marte
 c) Vênus
 d) Mercúrio

9) Qual é o movimento que a Terra realiza em torno de seu próprio eixo?

☒ a) Translação
 b) Rotação
 c) Oscilação
 d) Reflexão

10) Qual das seguintes leis de Kepler afirma que os planetas descrevem órbitas elípticas ao redor do Sol?

☒ a) Primeira lei de Kepler
 b) Segunda lei de Kepler
 c) Terceira lei de Kepler
 d) Nenhuma das anteriores

Fonte: Autor

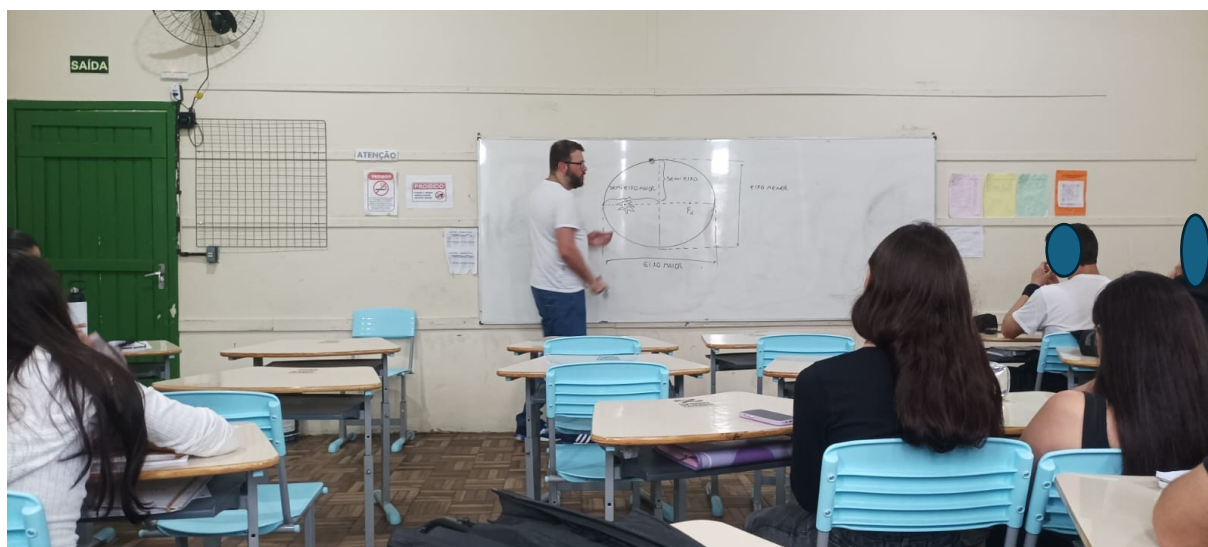
Os resultados evidenciaram diferenças significativas entre as turmas, sobretudo no que se refere à compreensão das Leis de Kepler e conceitos básicos como eclipse, planeta e movimento de translação. Após a aplicação e discussões posteriores, verificou-se a necessidade de alterar algumas questões do pré-questionário, que aparece em sua forma final no produto didático presente no Apêndice A.

5.3.2 ENCONTRO 2

O segundo encontro da sequência didática focou na Primeira Lei de Kepler, a Lei das Órbitas, fundamental para entender que os planetas se movem em trajetórias elípticas com o Sol em um de seus focos. A aula foi conduzida com o apoio do professor Dr. Esley Scatena, cuja presença foi importante para o andamento das atividades. Este encontro teve como objetivos centrais: (i) facilitar a compreensão da primeira lei de Kepler, (ii) trabalhar os elementos que definem uma órbita elíptica e (iii) utilizar o simulador como ferramenta principal para visualizar e explorar esses conceitos de forma prática.

A aula começou com uma apresentação teórica, ilustrada na Figura 13, onde o professor, utilizando slides, introduziu a lei e os conceitos básicos de elipse, como focos e eixos. Para tornar a explicação mais concreta, o professor desenhou uma elipse no quadro, mostrando como se constrói essa figura e como seus elementos se relacionam com a órbita de um planeta. Essa etapa foi essencial para preparar os alunos para a parte prática, garantindo que todos tivessem um entendimento mínimo do que iriam observar.

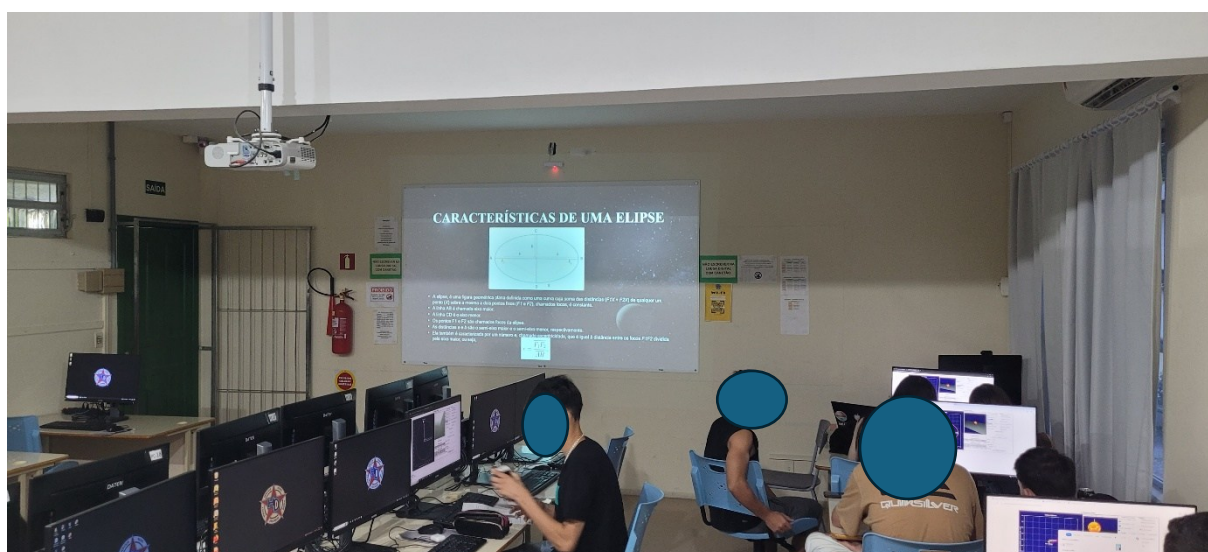
Figura 13: Apresentação teórica inicial, explicando os elementos de uma elipse no quadro.



Fonte: Autor

A turma então se dirigiu ao laboratório de informática para a atividade prática. Os alunos foram organizados em grupos de três a cinco pessoas, uma estratégia que visava otimizar o uso dos computadores e incentivar a troca de ideias entre eles. A tarefa consistia em usar o simulador para explorar as órbitas dos planetas e responder a um questionário com questões específicas sobre a elipse e a primeira lei. A Figura 14 captura o momento de interação dos alunos com o software, mostrando o engajamento durante a atividade.

Figura 14: Alunos em grupo interagindo com o simulador *Sistema Solar Galileu* durante a atividade prática no laboratório de informática.



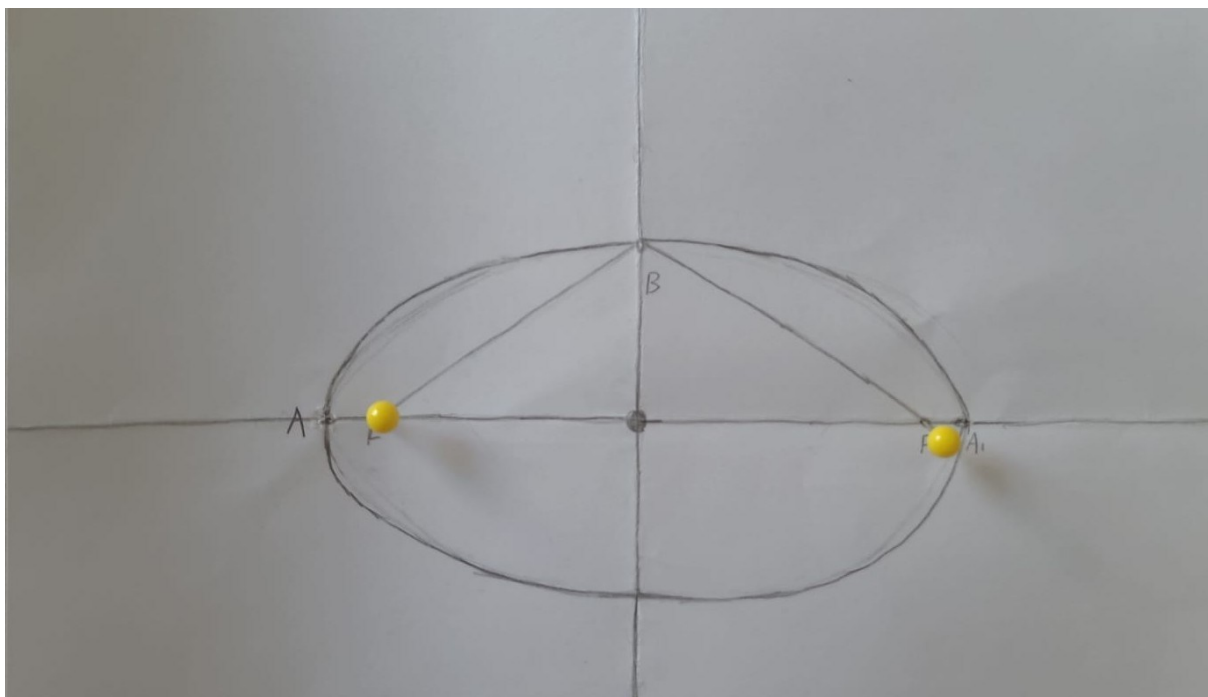
Fonte: Autor

Durante a atividade, notou-se que muitos alunos tiveram dificuldades iniciais para relacionar o que tinham visto na teoria com o que observavam na tela. A interface do simulador e a abstração do conceito pareceram ser os principais obstáculos. No entanto, com a orientação direta do professor, que circulou entre os grupos para tirar dúvidas, a maioria conseguiu superar essas barreiras e realizar a tarefa proposta.

Um ponto que chamou a atenção foi a diferença no engajamento entre as turmas. Enquanto os alunos do vespertino geralmente mostraram mais interesse e participação ativa, uma parte dos alunos do noturno demonstrou menos entusiasmo. É importante destacar que essa postura não pareceu estar ligada à atividade em si, mas possivelmente a fatores externos, como o cansaço após um dia de trabalho ou uma visão mais pragmática sobre a utilidade do conteúdo.

Para consolidar o aprendizado e oferecer uma experiência tangível do conceito de elipse, foi proposta uma atividade prática complementar para ser realizada fora do horário de aula: a construção manual de uma elipse. Os alunos receberam instruções para utilizar materiais simples como uma folha de papel, dois pregos (representando os focos), um barbante e um lápis. O procedimento consistia em fixar os pregos, amarrar o barbante neles e, mantendo-o tensionado com a ponta do lápis, traçar a curva elíptica resultante. Esta atividade visava reforçar fisicamente as propriedades geométricas da elipse – em especial, a constância da soma das distâncias de qualquer ponto da curva aos dois focos – e sua direta relação com as órbitas planetárias. A Figura 15 documenta o resultado desta atividade, mostrando elipses desenhadas pelos alunos, que foram trazidas e discutidas no encontro seguinte.

Figura 15: Atividade desenho de uma elipse



Fonte: Autor

Apesar dos contrastes observados, a atividade prática no laboratório – que durou 50 minutos – cumpriu seu papel. A manipulação do simulador permitiu que a maioria dos alunos visualizasse de forma clara a forma elíptica das órbitas, transformando um conceito muitas vezes abstrato em uma experiência concreta e significativa, posteriormente reforçada pela atividade manual. As Figuras 16 e 17 representam a atividade 2 em grupo realizada em sala.

Figura 16: Atividade 2

Nome: _____ N.º: _____
 Série: 2º Turma: 4 Turno: Vespertino Data: 21 / 11 / 24
 Professor(a): _____ GILSON KIENEN Valor: 10,0 Nota: _____

Atividade 2 - Responder as questões com base no simulador.

Para entendermos a primeira lei de Kepler precisamos saber o que é uma elipse e seus focos. No menu **Dados da órbita**, clique em *Ver centro e Ver focos*. Agora, ajuste os valores de *Excentricidade* e *Semi-eixo maior* para ver as diferentes formas que as elipses podem tomar. Você pode utilizar o botão de rolagem do mouse para aproximar ou afastar a imagem. Os pontos marcados com um X são os chamados *focos* da elipse. Chamaremos de r_1 a distância do foco da esquerda (onde fica o Sol) ao planeta e r_2 a distância do foco da direita ao planeta.

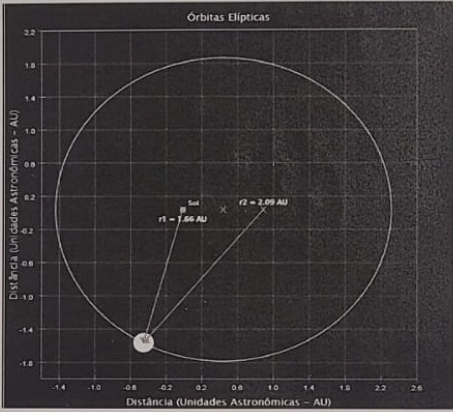


Figura 2: órbita elíptica com os valores dos raios partindo de cada um dos focos até o planeta.

1. No menu **Dados da órbita**, selecione as caixas *Semi-eixo maior* e *Semi-eixo menor* para exibi-los. Ajuste o valor de *Semi-eixo maior* para ver seu efeito na elipse. Agora, altere o valor da *Excentricidade*. O que acontece com os semi-eixos maior e menor? E o que acontece com os focos?

R: Acontece que o semi-eixo maior acaba ficando mais perto do sol
e o menor também. O foco fica no sol.

2. Ajuste o semi-eixo maior para um valor de 2 AU e excentricidade 0. Selecione a opção *Raio da órbita*, como na Figura 2. Quais os valores de r_1 e r_2 encontrados?

1 de 2

ATIVIDADE_2_ORBITAS_PLANETARIAS

Fonte: Autor

Figura 17: Atividade 2

R: $R_1 = 2 \text{ AU}$ e $R_2 = 2 \text{ AU}$

$$r_1 + r_2 = 2 \times a$$

$$2 \text{ AU} + 2 \text{ AU} = 2 \times 2 \text{ AU}$$

3. Altere agora o valor da excentricidade para 0,4 e mantenha o mesmo valor do semi-eixo maior. Pressione o botão ▶ para iniciar a simulação. Qual a menor distância que o planeta fica do Sol? E a maior distância?

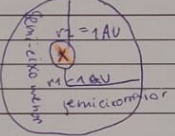
R:

Menor distância -

Maior distância -

4. Mantendo os mesmos parâmetros para a órbita, encontre o ponto no qual os valores de r_1 e r_2 são iguais. Faça um esboço da elipse, marque o local deste ponto e os raios r_1 e r_2 .

R:



5. Calcule $r_1 + r_2$ e compare com o semi-eixo maior. Existe alguma relação? Isso é válido para todos os pontos da elipse?

R: Sim, a soma $r_1 + r_2$ é sempre igual ao comprimento do eixo maior da elipse. Sim, é válido para todos os pontos da elipse.

6. No menu **planetas**, busque pelo planeta que possui a menor excentricidade. Qual a diferença do afélio e do periélio para a órbita deste planeta? 7. Qual planeta possui a maior excentricidade? Qual a diferença do afélio e periélio para este planeta?

R: Vênus é o planeta que possui a menor excentricidade.
Afélio: aproximadamente 108,9 milhões de km do sol
Periélio: aproximadamente 107,5 milhões de km do sol

7. Qual planeta possui a maior excentricidade? Qual a diferença do afélio e periélio para este planeta?

R: O planeta com maior excentricidade é Mercúrio. A diferença entre afélio: 69,8 milhões de km. Periélio: 46 milhões de km.

2 de 2

ATIVIDADE 2_ORBITAS_PLANETARIAS

Fonte: Autor

5.3.3 ENCONTRO 3

A terceira aula da sequência didática teve como foco a Segunda Lei de Kepler, também conhecida como Lei das Áreas, a qual estabelece que a linha imaginária que liga um planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais. O principal objetivo foi levar os alunos à compreensão de que a velocidade orbital de

um planeta não é constante, variando de acordo com sua posição ao longo da órbita elíptica.

O encontro iniciou-se com uma apresentação teórica em slides, na qual foi abordado o conceito de áreas varridas e a sua relação com a variação da velocidade orbital. Essa etapa foi fundamental para introduzir a ideia de que o movimento dos planetas não ocorre de forma uniforme, mas sim de maneira acelerada quando estão mais próximos ao Sol (periélio) e mais lenta quando estão mais afastados (afélio).

Na sequência, os alunos se dirigiram ao laboratório de informática para a atividade prática com o simulador online, em que puderam visualizar e manipular as trajetórias dos planetas, comparando a velocidade em diferentes trechos da órbita. O trabalho foi organizado em grupos, incentivando a troca de ideias e a resolução coletiva das questões propostas no questionário da atividade. A prática teve duração de 45 minutos.

Apesar das dificuldades iniciais em compreender a abstração do conceito de áreas varridas, a maioria dos alunos conseguiu realizar as tarefas com o apoio do professor, que acompanhou os grupos, esclarecendo dúvidas. Ao final, foi aplicado um questionário de feedback, no qual os estudantes avaliaram sua compreensão do conteúdo em uma escala de 1 a 5 (sendo 1 “muito baixa” e 5 “muito alta”). Os resultados, apresentados na Tabela 3 e no Gráfico 3 (Seção 6.3), revelaram que a maior parte dos alunos autoavaliou sua compreensão como 'Moderada' (nível 3) ou 'Alta' (nível 4), com variações entre as turmas. As Figuras 18 e 19 representam a atividade 3 em grupo realizada em sala.

Figura 18: Atividade 3

Nome: _____ N.º: _____
 Série: 2 Turma: 1 Turno: matutino Data: 22/11/24
 Professor(a): _____ Valor: _____ Nota: _____

Atividade 3 - Responder as questões com base no simulador.

A segunda lei de Kepler indica que existe uma relação entre a distância que um planeta se encontra do Sol e a velocidade com a qual ele percorre sua órbita. A forma utilizada por Kepler para explicitar essa relação foi por meio das 'áreas varridas' durante um mesmo intervalo de tempo. Para entendermos o que isso significa, clique na aba 2ª Lei de Kepler (conforme Figura 3).

Figura 3: Análise da 2ª lei de Kepler no Simulador do Sistema Solar.

Você pode selecionar um intervalo de tempo utilizando a barra deslizante para determinar qual a área varrida neste intervalo. Em seguida, basta clicar em Varrer área para visualizar a área demarcada. Você pode adicionar quantas áreas quiser e clicar em Apagar para apagá-las. Note que o valor da área demarcada é exibido, em AU^2 .

1. Clique no botão para reiniciar a simulação. Em seguida, na aba 2ª Lei de Kepler e ajuste o intervalo de tempo para 0.1 anos. Clique em para iniciar a simulação e em Varrer área para demarcar uma área varrida pelo planeta no intervalo definido. Qual o valor da área demarcada, em AU^2 . Repita o processo para outros trechos da órbita do planeta e verifique o valor da área varrida.

R: Valor da área demarcada 0.08 AU^2

1 de 3

ATIVIDADE_3_ÓRBITAS_PLANETÁRIAS

Fonte: Autor

Figura 19: Atividade 3

2. Ajuste o semi-eixo maior para 2 AU e a excentricidade para 0.5 e, voltando à aba 1ª Lei de Kepler, selecione Raio da órbita e clique em ► para iniciar a simulação. Identifique o afélio e o periélio. Em seguida, na aba 2ª Lei de Kepler, ajuste o intervalo de tempo para 0.1 anos e clique em Varrer área quando o planeta estiver próximo do periélio. Qual o valor da área? Repita o processo para o afélio. Quais as diferenças entre as áreas marcadas?

R: Varre áreas praticamente iguais

3. Comparando os trechos percorridos, você diria que o planeta percorreu uma distância maior durante o afélio e periélio?

R: NÃO. Varre áreas praticamente iguais

4. Se o intervalo de tempo fosse o mesmo, você diria que a velocidade do planeta no afélio é maior, menor ou igual a do periélio?

R: NÃO É CONSTANTE. É VARIÁVEL

5. A órbita do cometa Halley tem um semi-eixo maior de aproximadamente 18 AU, e uma excentricidade de aproximadamente 0.9, conforme a Figura 4. Coloque estes parâmetros no simulador e inicie a animação clicando em ►. O movimento do planeta é mais rápido quando ele está próximo do Sol ou distante do Sol?

R: Quando ele está próximo do Sol

OBS: Você pode mudar a velocidade da animação escolhendo outras taxas como 100 dias/ passo ou 10 dias/ passo.

2 de 3

ATIVIDADE 3_ÓRBITAS_PLANETÁRIAS

Fonte: Autor

5.3.4 ENCONTRO 4

A quarta aula da sequência foi dedicada ao estudo da Terceira Lei de Kepler, que estabelece a relação entre o período orbital de um planeta e o raio médio de sua órbita. Essa lei possui importância central para a astronomia, pois permite comparar o movimento de diferentes planetas e calcular seus períodos com base em dados observacionais.

O encontro teve início com uma apresentação teórica em slides, na qual foi explicada a relação matemática entre o período orbital e o raio médio da órbita. A aula destacou a importância dessa lei não apenas para a compreensão do sistema solar, mas também para a astronomia em geral, como ferramenta de cálculo aplicada à análise de corpos celestes.

Em seguida, os alunos realizaram uma atividade prática no laboratório de informática, utilizando novamente o simulador online para investigar os valores do raio médio e do período orbital de diferentes planetas. Com base nas informações obtidas, os grupos responderam a um questionário que exigia tanto interpretação conceitual quanto a aplicação de fórmulas matemáticas. A atividade teve duração de aproximadamente 35 minutos.

Ao término da prática, os alunos foram instigados a trazer para o próximo encontro perguntas, curiosidades e fenômenos relacionados às Leis de Kepler e à astronomia em geral, com o intuito de estimular a autonomia intelectual e fomentar discussões críticas no último encontro da sequência.

Assim como nos encontros anteriores, foi aplicado um questionário de feedback para avaliar a compreensão imediata dos alunos sobre a 3ª Lei de Kepler. A análise consolidada das respostas, que revela diferenças de percepção entre as turmas, é apresentada na seção 6.4 (ver Tabela 4 e gráfico 4).

5.3.5 ENCONTRO 5

O quinto e último encontro da sequência didática foi planejado com o objetivo de consolidar os conceitos aprendidos sobre as Leis de Kepler e sua aplicação prática, além de permitir uma avaliação final da aprendizagem dos estudantes. Os objetivos principais incluíam: (i) consolidar a compreensão das leis de Kepler e suas aplicações, (ii) analisar e interpretar dados e informações relacionadas ao movimento planetário e (iii) avaliar o conhecimento adquirido por meio do pós-questionário.

A aula teve início com uma discussão interativa sobre os temas abordados até o momento. Incentivei os alunos a fazerem perguntas e a compartilharem suas percepções sobre as aplicações das Leis de Kepler em contextos reais, como o

lançamento de satélites e a exploração espacial. Essa etapa foi crucial para o diálogo e para o esclarecimento de dúvidas remanescentes, permitindo que os alunos revisassem o conteúdo de forma colaborativa e contextualizada.

Após a discussão, foi aplicado o pós-questionário, uma ferramenta essencial para avaliar a eficácia da sequência didática e o progresso dos alunos. As questões foram elaboradas para testar a compreensão dos conceitos centrais das Leis de Kepler e de outros fenômenos astronômicos, como eclipses e marés, que haviam sido abordados de forma complementar.

Ao final, os alunos receberam um formulário de feedback para que pudessem avaliar a sequência didática como um todo, fornecendo sugestões e comentários sobre a metodologia, os recursos utilizados e a dinâmica das aulas.

Uma observação importante sobre a dinâmica das turmas foi a diferença de comparecimento. A maior parte dos alunos do período noturno (Turmas 201 e 202) não compareceu a este encontro final, o que demonstra um baixo comprometimento com as atividades da sequência didática, contrastando significativamente com a assiduidade quase total dos alunos do período vespertino (Turma 204).

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 Análise dos Resultados do Pré-Questionário Aula 1

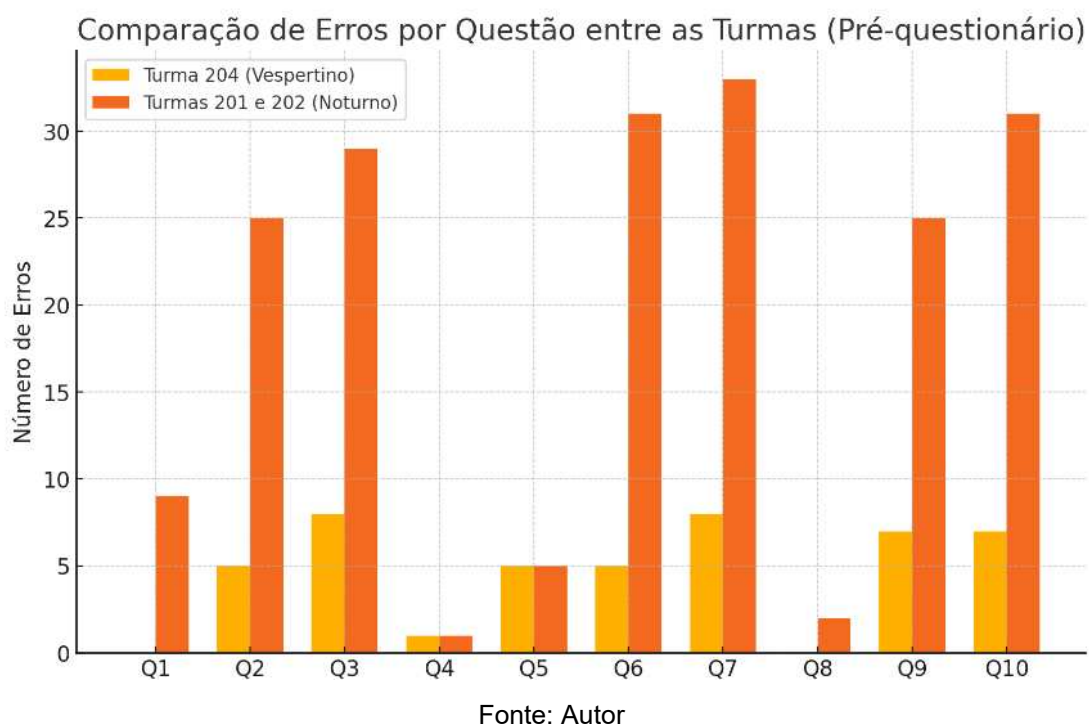
Os resultados evidenciaram diferenças significativas entre as turmas, sobretudo no que se refere à compreensão das Leis de Kepler e conceitos básicos como eclipse, planeta e movimento de translação.

Tabela 1: Erros no Pré-questionário por Turma e Questão

Questão	Tema da Questão	Turma 204 (Vespertino)	Turma 201 e 202 (Noturno)	Total de Erros
1	Estrela mais próxima	0	9	9
2	Conceito de planeta	5	25	30
3	Eclipse solar	8	29	37
4	Planeta com anéis	1	1	2
5	Johannes Kepler	5	5	10
6	Segunda lei de Kepler	5	31	36
7	Movimento de translação	8	33	41
8	Satélite natural da Terra	0	2	2
9	Movimento de rotação	7	25	32
10	Primeira lei de Kepler	7	31	38

Fonte: Autor

Gráfico 1: Comparação de erros por questão entre as turmas



Fonte: Autor

Análise dos Resultados do Pré-questionário

Ao analisar os resultados do pré-questionário sobre as Leis de Kepler, observamos algumas diferenças significativas no desempenho entre as turmas 204 (vespertino) e as turmas 201 e 202 (noturno). Abaixo está uma análise detalhada baseada no gráfico apresentado:

Questão 1: Apenas a turma noturna teve um número considerável de erros (9 alunos), enquanto nenhum aluno da turma 204 errou essa questão. Isso indica que os alunos da turma vespertina têm maior familiaridade com a questão sobre a estrela mais próxima da Terra.

Questões 2 e 3: Ambas as turmas apresentaram dificuldades nessas questões, que abordam o conceito de planeta e eclipse solar. Na turma 204, 5 alunos erraram a questão 2 e 8 alunos erraram a questão 3. Já nas turmas noturnas, os erros foram mais expressivos, com 25 e 29 erros, respectivamente, sugerindo que esses conceitos podem necessitar de uma abordagem mais detalhada.

Questão 4: Ambas as turmas tiveram desempenho similar, com apenas um erro em cada, indicando um bom entendimento sobre o planeta com anéis ao redor.

Questão 5: Em relação ao cientista Johannes Kepler, as turmas 204 e noturnas tiveram um número de erros moderado (5 erros em cada), apontando uma compreensão parcial sobre o tema.

Questões 6 e 7: Ambas as questões, que tratam da segunda lei de Kepler e do movimento de translação, foram particularmente desafiadoras para os alunos das turmas noturnas, com 31 e 33 erros, respectivamente. A turma 204 também encontrou dificuldades, com 5 erros na questão 6 e 8 erros na questão 7. Esses resultados sugerem que esses tópicos requerem maior atenção na revisão de conteúdo.

Questão 8: Os alunos mostraram bom entendimento sobre o satélite natural da Terra. Apenas 2 erros foram registrados nas turmas noturnas, enquanto todos os alunos da turma 204 acertaram essa questão.

Questões 9 e 10: Ambas as turmas apresentaram dificuldades nessas questões, que abordam o movimento de rotação e a primeira lei de Kepler. A turma 204 teve 7 erros em cada uma, enquanto nas turmas noturnas os erros foram de 25

e 31, respectivamente, o que indica que esses conceitos necessitam de mais ênfase.

A análise revela que, de modo geral, as turmas noturnas (201 e 202) tiveram mais dificuldade em assimilar os conceitos abordados no pré-questionário, especialmente nas questões que envolvem a definição de um planeta, eclipse solar, e as leis de Kepler (segunda e primeira leis). A turma vespertina (204) demonstrou um desempenho superior, mas ainda apresentou dificuldades em tópicos específicos, como a segunda lei de Kepler e o movimento de translação. Essas observações indicam a necessidade de reforço nos conceitos mais complexos e podem direcionar o foco das próximas aulas para temas que necessitam de maior esclarecimento.

6.2 Análise do Feedback dos Alunos Sobre a Compreensão da Aula 2

Além dos resultados do pré-questionário, também foi aplicado um feedback para avaliar como os alunos classificaram a compreensão geral do conteúdo abordado na aula, utilizando uma escala de 1 a 5. Abaixo está uma tabela e um gráfico, Tabela 2 e gráfico 2 fazendo a análise comparativa das respostas entre as turmas 204 (vespertino), 201 e 202 (noturno):

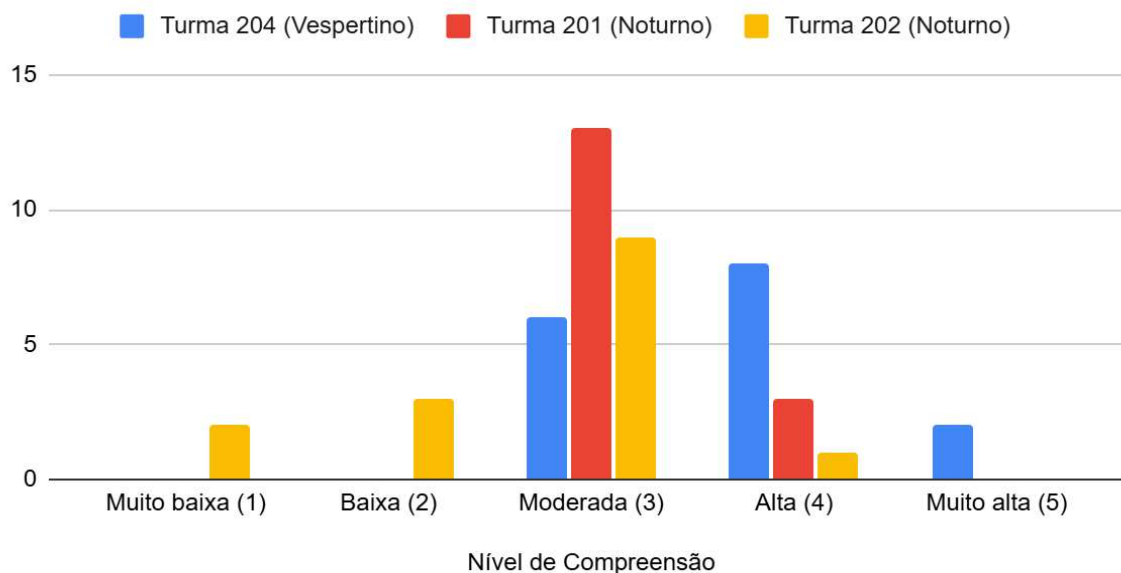
Tabela 2: Análise comparativa (Feedback) das respostas entre as turmas 204 (vespertino), 201 e 202 (noturno):

Nível de Compreensão	Turma 204 (Vespertino)	Turma 201 (Noturno)	Turma 202 (Noturno)
Muito baixa (1)	0	0	2
Baixa (2)	0	0	3
Moderada (3)	6	13	9
Alta (4)	8	3	1
Muito alta (5)	2	0	0

Fonte: autor

Gráfico 2: Análise Feedback aula 2

Turma 204 (Vespertino), Turma 201 (Noturno) e Turma 202 (Noturno)



Fonte: Autor

A análise do nível de compreensão das turmas mostrou diferenças claras entre o período vespertino e o noturno. Na turma 204 (Vespertino), a maioria dos alunos (8) avaliou sua compreensão como "Alta", demonstrando que os conceitos apresentados foram assimilados de forma satisfatória. Seis alunos indicaram uma compreensão "Moderada", sugerindo que, embora tenham absorvido os conteúdos, ainda existem pontos que merecem reforço. Dois alunos consideraram sua compreensão "Muito alta", o que evidencia uma assimilação sólida e aprofundada. Esses resultados indicam que, de maneira geral, os estudantes da turma vespertina acompanharam bem a aula, havendo apenas pequenos aspectos a serem aprimorados.

É importante ressaltar que os dados do *feedback* se referem à autopercepção de compreensão dos alunos, um indicador subjetivo e complementar. A literatura educacional (ex.: ZACHARIA; ANDERSON, 2015) aponta que a autoavaliação de compreensão pode ser imprecisa, especialmente em níveis elevados, sendo mais confiável para identificar dificuldades declaradas. Portanto, as respostas nos níveis 1 e 2 ('Muito baixa' e 'Baixa') são consideradas indicadores

mais robustos de que o conteúdo *não foi assimilado*. Já as respostas nos níveis 3 a 5 sugerem, de forma mais ampla, um engajamento positivo com a atividade e uma percepção de que a aula foi acessível, mas não devem ser interpretadas como medida direta de domínio do conteúdo.

Na turma 201 (Noturno), a maioria dos alunos (13) classificou sua compreensão como "Moderada", revelando que entenderam parcialmente o conteúdo, mas ainda mantêm dúvidas sobre determinados tópicos. Três alunos apontaram uma compreensão "Alta", indicando que uma pequena parcela da turma conseguiu assimilar bem os conceitos apresentados. Esses resultados sugerem a necessidade de revisões adicionais e esclarecimentos mais detalhados para consolidar o aprendizado. A situação se mostrou mais crítica na turma 202 (Noturno), na qual nove alunos relataram compreensão "Moderada", dois consideraram sua compreensão "Muito baixa" e três, "Baixa", demonstrando dificuldades mais acentuadas. Apenas um aluno classificou sua compreensão como "Alta". Esse cenário evidencia a necessidade de estratégias de intervenção mais detalhadas, incluindo atividades de reforço e acompanhamento específico, para favorecer a compreensão plena dos conteúdos.

Em termos gerais, a turma vespertina apresentou uma resposta mais positiva, enquanto as turmas noturnas, especialmente a 202, demonstraram maiores dificuldades. Esses resultados indicam que as turmas noturnas podem se beneficiar de revisões mais aprofundadas e de abordagens pedagógicas diferenciadas, enquanto a turma vespertina pode concentrar esforços em atividades de consolidação e aprimoramento de pontos específicos.

A análise das duas primeiras aulas de astronomia permitiu identificar aspectos positivos e desafios do processo de ensino-aprendizagem. Observou-se que o uso de recursos multimídia, como vídeos e o simulador interativo, foi eficiente para captar a atenção dos alunos e estimular a participação ativa. Os questionamentos e comentários durante as aulas indicaram que esses recursos ajudaram a tornar conceitos abstratos, como os modelos geocêntrico e heliocêntrico e o movimento planetário, mais concretos e compreensíveis. Além disso, o questionário inicial permitiu mapear os conhecimentos prévios dos alunos, alinhando-se à perspectiva da aprendizagem significativa proposta por Ausubel.

Essa abordagem possibilitou conectar os novos conteúdos a saberes já existentes, favorecendo a assimilação e a construção de conhecimento de forma mais consistente. A combinação de estratégias variadas — questionário, vídeos, slides e simulador — contribuiu para a criação de um ambiente de aprendizagem dinâmico, oferecendo múltiplas formas de interação e enriquecendo a experiência pedagógica.

Apesar dos pontos positivos, os resultados indicaram diferenças no desempenho entre as turmas. Enquanto a turma 204 apresentou maior compreensão, as turmas 201 e 202 demonstraram dificuldades consideráveis, sendo a 202 a mais afetada. Para essas turmas, torna-se necessário reforço detalhado e atenção especial à explicação de conceitos mais complexos, como as leis de Kepler e o movimento de translação planetária. A turma 202, em particular, evidenciou a necessidade de atividades de revisão, exercícios práticos e discussões orientadas, com o objetivo de consolidar os conteúdos e reduzir lacunas de aprendizado. Alguns conceitos, especialmente as leis de Kepler e o movimento de translação, requerem acompanhamento mais próximo para garantir que todos os alunos, independentemente da turma, adquiram compreensão sólida.

O feedback dos alunos reforçou essas observações. Na turma vespertina, a compreensão geral foi satisfatória, embora ainda existam aspectos a serem aprimorados. Nas turmas noturnas, predominou uma compreensão moderada, e alguns estudantes relataram dificuldades significativas, evidenciando a necessidade de ajustar as próximas aulas para atender de forma mais efetiva às diferentes demandas de aprendizagem. Em síntese, o processo inicial de ensino-aprendizagem foi positivo, com engajamento ativo e interesse dos alunos. Contudo, as dificuldades observadas nas turmas noturnas indicam que ajustes na abordagem pedagógica são essenciais para assegurar que todos os estudantes tenham condições de aprender de maneira significativa. Nas próximas aulas, será fundamental dedicar mais atenção aos conceitos desafiadores, utilizando atividades práticas, revisões direcionadas e estratégias diferenciadas, de modo a atender aos diferentes níveis de compreensão presentes nas turmas.

6.3 Análise do Feedback dos Alunos Sobre a Compreensão da Aula 3

Para avaliar a percepção dos estudantes em relação à compreensão dos conteúdos trabalhados, aplicou-se um questionário de feedback em escala de 1 a 5, em que 1 corresponde a "muito baixa compreensão" e 5 a "muito alta compreensão". Os resultados consolidados encontram-se na Tabela 3 e gráfico 3, abaixo.

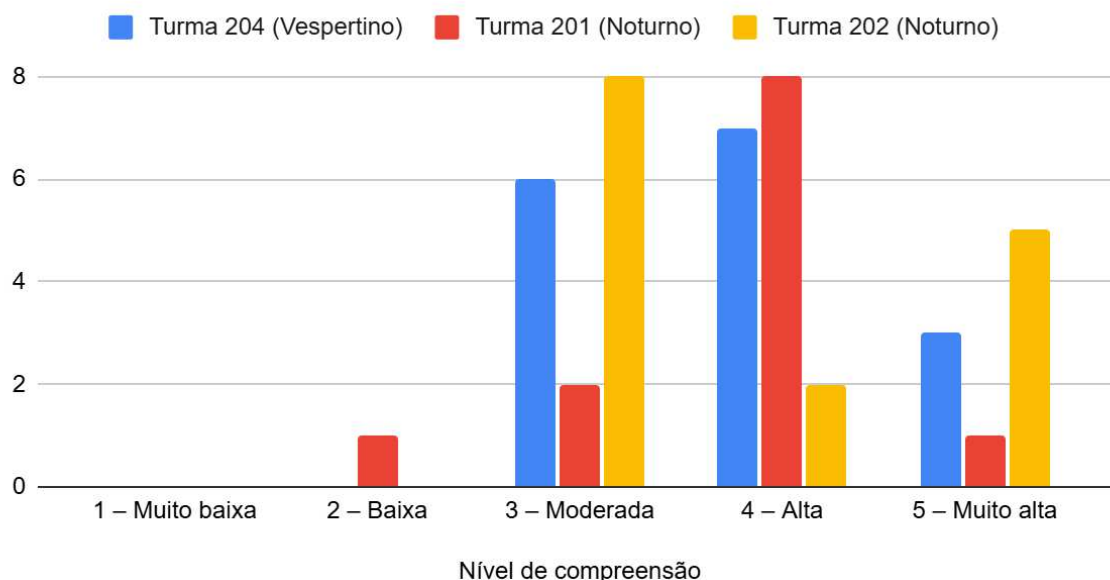
Tabela 3: Distribuição das respostas dos alunos por turma

Nível de compreensão	Turma 204 (Vespertino)	Turma 201 (Noturno)	Turma 202 (Noturno)
1 – Muito baixa	0	0	0
2 – Baixa	0	1	0
3 – Moderada	6	2	8
4 – Alta	7	8	2
5 – Muito alta	3	1	5

Fonte: Autor

Gráfico 3: Análise Feedback aula 3

Turma 204 (Vespertino), Turma 201 (Noturno) e Turma 202 (Noturno)



Fonte: Autor

A análise dos dados evidencia diferenças significativas entre as turmas quanto à autopercepção de compreensão. A Turma 202 (Noturno) concentrou a maior parte de suas respostas no nível 3 (compreensão moderada), com 8 alunos. Apesar de contar com 5 alunos que declararam compreensão muito alta, observa-se que a distribuição indica uma predominância de percepções intermediárias, sugerindo que parte dos estudantes ainda encontra dificuldades em consolidar os conceitos.

Na Turma 201 (Noturno), por outro lado, há um deslocamento para níveis mais elevados de compreensão: 8 estudantes classificaram sua compreensão no nível 4 e apenas 1 no nível 5, indicando predominância da compreensão alta, ainda que não muito alta. A presença de apenas um aluno no nível 2 reforça que as dificuldades mais severas são pontuais e não representam o coletivo da turma.

Já a Turma 204 (Vespertino) apresenta um perfil semelhante à 201, mas com uma distribuição mais equilibrada entre os níveis 3 e 4. Foram 6 estudantes no nível 3, 7 no nível 4 e 3 no nível 5. Esse resultado revela uma tendência de consolidação do aprendizado, mas ainda marcada por uma divisão entre compreensão moderada e alta.

De modo comparativo, as turmas 201 e 204 se destacam por apresentarem maior concentração nos níveis 4 e 5, o que denota uma percepção mais positiva sobre a assimilação do conteúdo. A Turma 202, por sua vez, apresenta um desempenho mais heterogêneo, com maior inclinação para a compreensão intermediária.

Essas diferenças podem estar associadas a múltiplos fatores, como o turno das aulas (vespertino ou noturno), o perfil socioeducacional dos estudantes, o nível de engajamento em sala e até mesmo aspectos relacionados à dinâmica pedagógica empregada durante a aplicação das atividades. No caso da Turma 202, a predominância de percepções intermediárias pode refletir cansaço ou menor disponibilidade cognitiva devido ao horário noturno, ao passo que a Turma 204, com aulas no vespertino, demonstra maior homogeneidade em níveis mais altos de compreensão.

Por fim, é importante destacar que a ausência de respostas nos níveis mais baixos (1 e 2) em quase todas as turmas, com exceção de um único caso na Turma

201, sugere que as estratégias didáticas aplicadas foram efetivas para a maior parte dos estudantes, ainda que existam diferenças internas na forma como cada turma assimilou os conteúdos.

6.4 Análise do Feedback dos Alunos Sobre a Compreensão da Aula 4

A análise do feedback da Aula 4, que abordou a Terceira Lei de Kepler, revelou um padrão de desempenho que reforça as observações dos encontros anteriores. Os resultados são apresentados na Tabela 4 e gráfico 4 abaixo.

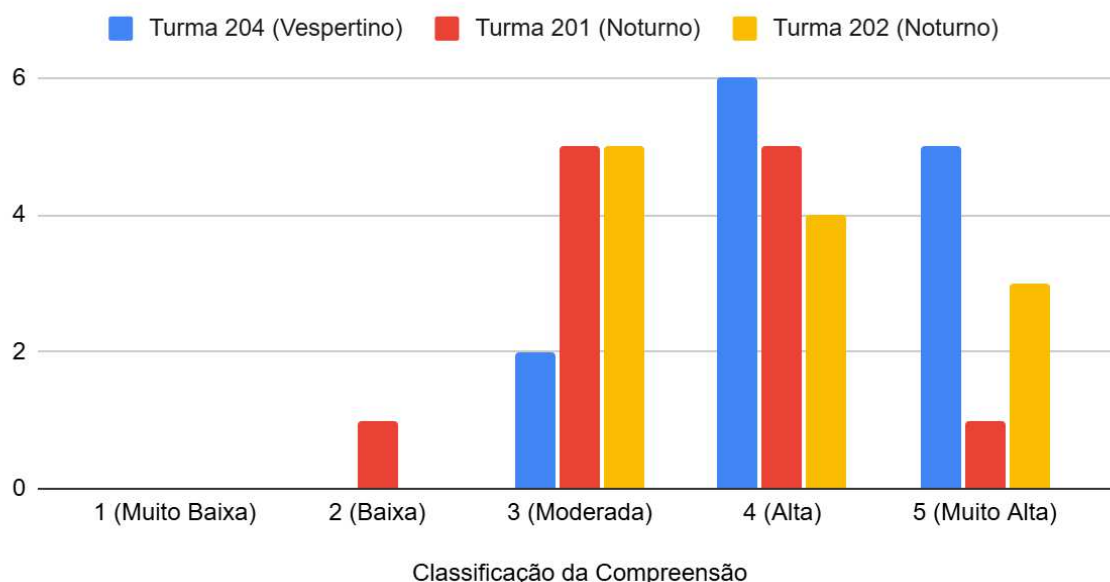
Tabela 4: Feedback dos alunos sobre a compreensão da Aula 4 (3ª Lei de Kepler)

Classificação da Compreensão	Turma 204 (Vespertino)	Turma 201 (Noturno)	Turma 202 (Noturno)
1 (Muito Baixa)	0	0	0
2 (Baixa)	0	1	0
3 (Moderada)	2	5	5
4 (Alta)	6	5	4
5 (Muito Alta)	5	1	3

Fonte: autor

Gráfico 4: Análise do Feedback da aula 4

Turma 204 (Vespertino), Turma 201 (Noturno) e Turma 202 (Noturno)



Fonte: Autor

A leitura da Tabela 4 evidencia que a Turma 204 (Vespertino) manteve o melhor desempenho, com a maioria dos alunos (11 de 13) indicando uma compreensão "Alta" ou "Muito Alta" do conteúdo. Esse resultado sugere que a abordagem quantitativa da lei, que envolveu o uso de fórmulas matemáticas, foi bem absorvida por esse grupo.

As turmas noturnas, por outro lado, apresentaram um cenário de compreensão mais moderada e heterogênea. A Turma 201 teve uma distribuição equilibrada nas classificações "Moderada" e "Alta", indicando que a aplicação da lei, por meio de cálculos matemáticos, representou um desafio para cerca de metade do grupo. A Turma 202 também mostrou uma distribuição similar, com uma concentração de respostas entre "Moderada", "Alta" e "Muito Alta", o que sugere que, embora as dificuldades persistam, a abordagem ainda permitiu que alguns estudantes alcançassem uma compreensão sólida.

Os resultados do feedback das aulas sobre a 3ª Lei de Kepler confirmam o padrão de desempenho observado ao longo de toda a sequência didática. A Turma 204 (vespertino) demonstrou um progresso consistente e um nível de compreensão

mais elevado, o que pode ser atribuído a um maior engajamento e a um contexto de aprendizagem mais favorável. Em contrapartida, as turmas noturnas (201 e 202) continuaram a enfrentar desafios, com uma parcela significativa dos alunos indicando uma compreensão moderada.

Apesar das dificuldades, a análise dos dados válida a importância do uso de simulações interativas. A manipulação do simulador se mostrou crucial para que os conceitos abstratos e as relações matemáticas da 3ª Lei de Kepler pudessem ser visualizados de forma concreta.

Esses resultados reforçam a necessidade de ajustar a abordagem pedagógica para as turmas noturnas no futuro. A diferença de desempenho sugere que um planejamento mais flexível, com tempo adicional para revisões, discussões em grupo e atividades de reforço, seria benéfico. As observações também servem de base para o próximo e último encontro (Encontro 5), onde o foco será em consolidar os conceitos e esclarecer as dúvidas remanescentes dos alunos, para que todos possam sair com um entendimento sólido das Leis de Kepler e da Astronomia.

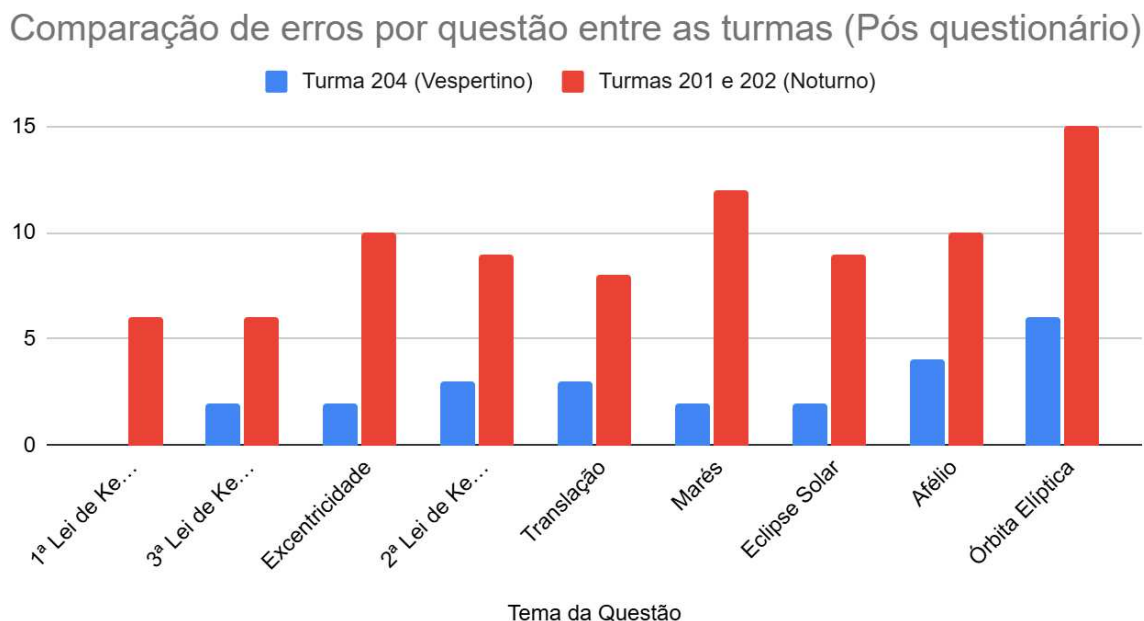
6.5 Análise dos Resultados do pós-Questionário e análise do Feedback dos Alunos Sobre a Compreensão da Aula 5

Tabela 5: Número de erros por questão no Pós-Questionário

Questão	Tema da Questão	Turma 204 (Vespertino)	Turmas 201 e 202 (Noturno)	Total de Erros
1	1ª Lei de Kepler	0	6	6
2	3ª Lei de Kepler	2	6	8
3	Excentricidade	2	10	12
4	2ª Lei de Kepler	3	9	12
5	Translação	3	8	11
6	Marés	2	12	14
7	Eclipse Solar	2	9	11
8	Afélio	4	10	14
9	Órbita Elíptica	6	15	21

Fonte: Autor

Gráfico 5: Comparação de erros por questão pós questionário entre as turmas



Fonte: Autor

A análise dos resultados do pós-questionário evidencia um avanço geral na compreensão dos conceitos de Astronomia e das Leis de Kepler em todas as turmas, em comparação com os dados do pré-questionário.

Turma 204 (Vespertino): Demonstrou um desempenho excepcionalmente positivo, com uma taxa de acertos consistentemente alta em todas as questões. O resultado da Questão 1 (1ª Lei de Kepler) e da Questão 2 (3ª Lei de Kepler) mostra que a sequência didática foi altamente eficaz para este grupo, solidificando o aprendizado sobre as leis. As questões mais complexas, como a Questão 9 (forma elíptica da órbita), que envolvia um raciocínio mais abstrato, também obtiveram um bom número de acertos, indicando que a aprendizagem significativa de fato ocorreu.

Turmas 201 e 202 (Noturno): Embora tenham apresentado um número de acertos menor em comparação com a Turma 204, os resultados mostram uma melhora significativa em relação ao pré-questionário. A Questão 1 (1ª Lei de Kepler) foi a que obteve o maior número de acertos em ambas as turmas, o que sugere que o conceito de órbita elíptica foi o mais bem assimilado. As questões sobre a 2ª Lei (Q4) e a 3ª Lei (Q2) também mostraram um progresso notável, indicando que, apesar do menor engajamento geral e das dificuldades observadas durante as

aulas, o uso do simulador e as atividades propostas contribuíram para a construção do conhecimento.

A comparação entre os resultados dos dois questionários revela a eficácia da sequência didática. Em todas as turmas, houve um aumento no número de acertos nas questões sobre as Leis de Kepler e demais conceitos astronômicos. A diferença entre o desempenho da Turma 204 e as turmas noturnas pode ser atribuída a fatores como a diferença de comprometimento e a maior dificuldade prévia dessas turmas, já identificada no pré-questionário. O baixo comparecimento dos alunos do noturno ao Encontro 5 também pode ter impactado negativamente os resultados, uma vez que eles não participaram da etapa de consolidação e discussão final dos conteúdos.

Em síntese, os resultados do pós-questionário confirmam que a sequência didática, embora tenha tido sucesso em todas as turmas, foi mais eficaz na turma com maior engajamento e participação. As dificuldades persistentes em algumas turmas reforçam a necessidade de estratégias didáticas mais adaptadas ao perfil do aluno, com maior foco no tempo e na dinâmica de ensino.

A avaliação contínua da compreensão dos alunos, realizada por meio de um questionário de feedback, se mostrou essencial para monitorar o processo de aprendizagem e adaptar as atividades da sequência didática. Os resultados, em uma escala de 1 a 5, onde 1 representa "muito baixa compreensão" e 5 representa "muito alta compreensão", permitiram uma análise detalhada do entendimento de cada turma.

A Tabela 6 e o Gráfico 6, a seguir, sintetizam as respostas obtidas ao final de uma das aulas.

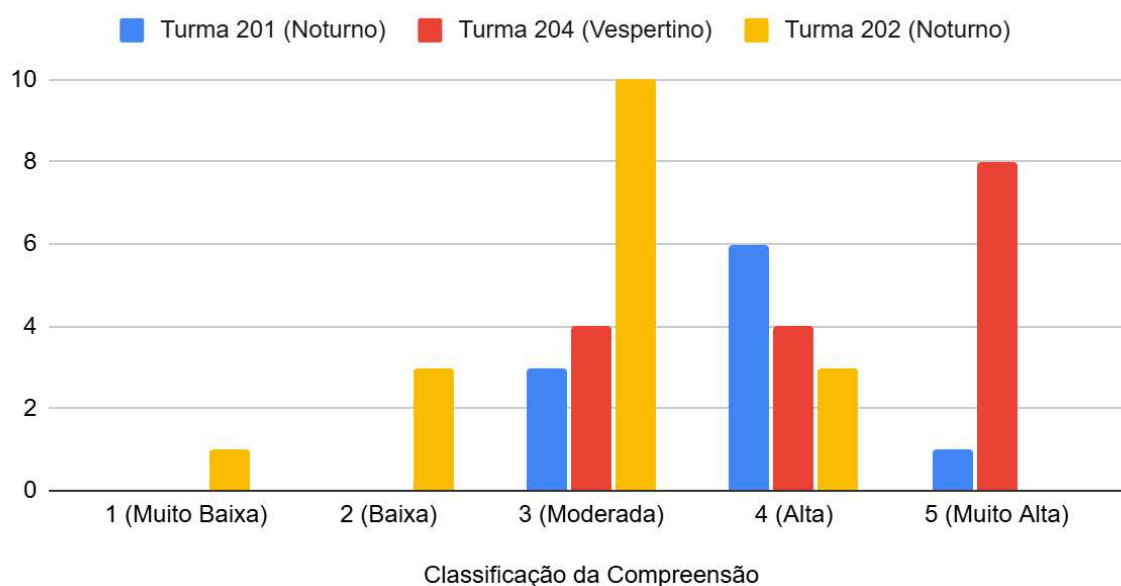
Tabela 6: Respostas dos alunos ao questionário de feedback sobre a compreensão da aula 5.

Classificação da Compreensão	Turma 201 (Noturno)	Turma 204 (Vespertino)	Turma 202 (Noturno)
1 (Muito Baixa)	0	0	1
2 (Baixa)	0	0	3
3 (Moderada)	3	4	10
4 (Alta)	6	4	3
5 (Muito Alta)	1	8	0

Fonte: Autor

Gráfico 6: Análise Feedback aula 5

Turma 201 (Noturno), Turma 204 (Vespertino) e Turma 202 (Noturno)



Fonte: Autor

A análise dos resultados do questionário de feedback revela diferenças significativas na percepção de compreensão entre as turmas, reforçando o padrão de desempenho observado em outras etapas da pesquisa.

A Turma 204 (Vespertino) demonstrou um alto nível de compreensão, com a maioria dos alunos (12 de 16) classificando sua assimilação do conteúdo como "Alta" ou "Muito Alta". Este resultado sugere que a metodologia utilizada, incluindo a combinação de recursos multimídia e atividades práticas, foi altamente eficaz para este grupo. O fato de nenhum aluno ter reportado uma compreensão baixa ou muito baixa indica que o conteúdo foi acessível e que a abordagem pedagógica atendeu às necessidades gerais dessa turma.

Em contraste, as turmas noturnas apresentaram um cenário mais desafiador. A Turma 201 (Noturno) teve uma distribuição de respostas concentrada entre as categorias "Moderada" e "Alta", com a maior parte dos alunos (6 de 10) se sentindo confiante em sua compreensão ("Alta"). Este resultado, embora não tão positivo quanto o da Turma 204, ainda demonstra um progresso significativo.

A Turma 202 (Noturno), por sua vez, registrou as maiores dificuldades. A maioria dos alunos (10 de 17) classificou sua compreensão como "Moderada", e

uma parcela considerável (4 alunos) reportou uma compreensão "Baixa" ou "Muito Baixa". Este dado é um alerta e sugere a necessidade de uma atenção especial e de estratégias de reforço para este grupo, que pode ter enfrentado obstáculos tanto no conteúdo quanto na dinâmica da aula.

Esses resultados reforçam a pertinência de adaptar a abordagem de ensino para diferentes contextos, como as turmas noturnas, que frequentemente enfrentam desafios como o cansaço após a jornada de trabalho. A heterogeneidade da compreensão entre as turmas válida a importância de um olhar individualizado para o processo de aprendizagem, garantindo que as futuras etapas da sequência didática possam ser ajustadas para maximizar o sucesso de todos os alunos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo geral investigar indícios da eficácia do simulador educacional *Sistema Solar Galileu* como recurso pedagógico para o ensino de astronomia e das Leis de Kepler no Ensino Médio. A análise integrada dos resultados permite concluir que o uso da simulação computacional se apresenta como uma ferramenta instigante para promover uma aprendizagem significativa, conforme preconizado por Ausubel.

Quanto ao engajamento e à motivação, verificou-se que o simulador exerceu um impacto extremamente positivo. Os recursos visuais e interativos capturaram a atenção dos alunos, transformando conceitos abstratos e distantes em experiências tangíveis e fascinantes. O alto nível de participação durante as atividades práticas, especialmente nas turmas vespertinas, e os comentários espontâneos registrados são testemunhos do poder de engajamento da ferramenta. Ela não apenas motivou os alunos a participarem das atividades propostas, mas também os incentivou a explorar para além do roteiro, manipulando parâmetros e testando hipóteses.

A possibilidade de visualizar e manipular variáveis (como excentricidade, velocidade e distância) fez com que os alunos naturalmente questionassem relações de causa e efeito. Eles foram levados a formular perguntas do tipo "o que acontece se...?", saindo de uma postura passiva para uma atitude investigativa. O momento de discussão no Encontro 5, embora prejudicado pela baixa assiduidade do noturno,

demonstrou que a ferramenta forneceu subsídios concretos para debates mais profundos sobre fenômenos astronômicos.

A pesquisa evidenciou que os principais obstáculos não estão intrinsicamente ligados à ferramenta em si, que se mostrou acessível e de interface intuitiva, mas a fatores contextuais. A disparidade de desempenho e engajamento entre as turmas vespertinas e noturnas foi o desafio mais significativo. Ficou claro que variáveis como cansaço, rotina de trabalho e possíveis defasagens de aprendizagem prévias impactaram diretamente a capacidade de absorção do conteúdo por parte de alguns alunos. Outro desafio observado foi a dificuldade inicial de abstração, principalmente com a 2ª Lei de Kepler (Lei das Áreas), que foi superada com a mediação ativa do professor durante o uso do simulador.

Em relação à efetividade na promoção de uma abordagem prática e interativa, os resultados do pré e pós-questionário são incontestes. Houve um avanço notável na aquisição de conhecimento em todas as turmas. A atividade prática com o simulador permitiu que os alunos visualizassem a forma elíptica das órbitas (1ª Lei), comparassem a velocidade orbital em diferentes pontos (2ª Lei) e descobrissem a relação matemática entre período e distância (3ª Lei) de forma investigativa. Isso transformou a aprendizagem de um processo meramente teórico e expositivo em uma experiência hands-on, onde o aluno era o agente principal na construção do seu conhecimento.

Em síntese, esta dissertação conclui que o simulador *Sistema Solar Galileu* facilita a aprendizagem dos conceitos astronômicos, estimula o engajamento e o pensamento crítico e promove com sucesso uma abordagem prática e interativa. No entanto, a conclusão mais importante talvez seja a de que a tecnologia, por mais inovadora que seja, não opera no vácuo. Sua eficácia máxima é atingida quando mediada por uma prática pedagógica reflexiva que considere as particularidades de cada turma e de cada aluno. Para turmas com maiores dificuldades, como as do período noturno, a sequência didática precisa ser adaptada, com mais tempo para a mediação, revisão dos conceitos básicos e consolidação das atividades.

Portanto, o produto educacional desenvolvido, constituído por uma sequência didática integrada ao simulador *Sistema Solar Galileu*, apresenta-se como uma contribuição válida e aplicável ao ensino de Física. Contudo, seu êxito depende

fundamentalmente da capacidade do educador em contextualizá-lo e adaptá-lo à realidade específica de seu ambiente educativo. Para que a simulação computacional cumpra efetivamente sua função como âncora de aprendizagem significativa, é essencial que o professor articule criticamente o recurso tecnológico com os objetivos pedagógicos, as particularidades discentes e o contexto escolar. Dessa forma, o potencial didático do simulador transcende sua dimensão instrumental, transformando-se em mediador efetivo na construção de conhecimentos científicos significativos.

8 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. de S.; SANTOS, S. R. dos; FERREIRA, R. M. N. A abordagem dos três momentos pedagógicos no ensino de ciências: uma análise das pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 2, p. 464-490, 2015.

ARAÚJO, E. J. D. **Ensino Híbrido**: uma proposta para a abordagem das Leis de Kepler no Ensino Médio. 2019. 150 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos**. Lisboa: Plátano, 2003.

AUSUBEL, D. P. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BOURDIEU, P. **Escritos de educação**. Petrópolis: Vozes, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: [insira data].

BRASIL. Ministério da Educação. **Plano Nacional de Educação – PNE 2014-2024**. Brasília: MEC, 2014. Disponível em: <http://pne.mec.gov.br/>. Acesso em: [insira data].

CARROLL, Bradley W.; OSTLIE, Dale A. **An Introduction to Modern Astrophysics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990. (Coleção Didática: O Ensino em Questão).

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.; PERNAMBUCO, M. M. C. de A. **Ensino de física**: da teoria à prática, ou da prática à teoria? São Paulo: Cortez, 2002.

FREITAS, M. T. A. et al. Simuladores no ensino de Física: um estudo em escolas públicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 2, 2018.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. Volume 2. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) Contínua**: Educação 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html>. Acesso em: [insira data].

KENSKI, V. M. **Educação e tecnologias**: o novo ritmo da informação. 8. ed. Campinas: Papirus, 2012.

KEPLER, Johannes. **New astronomy**: based upon causes, or a physics of the sky. Tradução de William H. Donahue. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. (Obra original publicada em 1609).

LOCHNER, J. C. Teaching Kepler's Laws: A Hands-On Approach. **The Physics Teacher**, v. 41, n. 2, p. 118-122, 2003.

MARTINS, R. A. **Kepler e a astronomia física**: uma interpretação histórica. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MATOS, A. P. de P.; ESPÍRITO SANTO, M. A. do; SOUZA, P. V. S. Simulações computacionais do software GeoGebra para auxiliar no ensino das leis de Kepler. **A Física na Escola**, v. 21, 230001, 2023. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/>. Acesso em: [Colocar a data de acesso].

MISHRA, P.; KOEHLER, M. J. Technological pedagogical content knowledge: a framework for teacher knowledge. **Teachers College Record**, v. 108, n. 6, p. 1017-1054, 2006.

MORAES, S. E.; MACHADO, L. C. Tecnologia e ensino de física: a sala de aula invertida. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 3, p. 150-163, 2017.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**: a teoria de David Ausubel. Brasília: Editora da UnB, 2006.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 2011.

NASA. **Solar System Exploration**. 2023. Disponível em: <https://solarsystem.nasa.gov/>. Acesso em: [insira data].

NASCIMENTO, J. O. do et al. A modelagem e a simulação computacional como ferramentas tecnológicas no ensino de física. **Revista Signos**, Lajeado, ano 38, n. 1, 2017. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas>. Acesso em: [Colocar a data de acesso].

NEWTON, Isaac. **Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica**. Londres: Royal Society, 1687.

NEWTON, Isaac. **Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica**. Tradução de I. Bernard Cohen e Anne Whitman. Berkeley: University of California Press, 1999. (Obra original publicada em 1687).

OMENA, V. A. A. **Uma abordagem de noções de programação e simulação computacional para a Física do Ensino Médio através do software Scratch: gamificando órbitas planetárias**. 2022. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Instituto de Física, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Education at a Glance 2020: OECD Indicators**. Paris: OECD Publishing, 2020. Disponível em: <https://www.oecd.org/education/education-at-a-glance/>. Acesso em: [insira data].

PACHECO, H. P. et al. Laboratório Virtual de Astronomia: uma proposta didática para o ensino da Terceira Lei de Kepler. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 25-37, 2021.

PAGANI, F. **A revolução newtoniana: física e história**. Rio de Janeiro: Editora da Física, 2010.

PASACHOFF, J. M. **Astronomy: From the Earth to the Universe**. 6th ed. Belmont: Brooks/Cole, 2006.

PASACHOFF, Jay M. **Field Guide to Stars and Planets**. 5. ed. New York: Cambridge University Press, 2015.

PELIZZARI, A. et al. Teoria da Aprendizagem Significativa segundo Ausubel. **Revista PEC**, Curitiba, v. 2, n. 1, 2002.

SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e Astrofísica**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2013.

SCATENA, L. P. **Simulador Sistema Solar**. Florianópolis: UFSC, 2023. Disponível em: https://scatena.sites.ufsc.br/astrofísica/sistema_solar/index.xhtml. Acesso em: [insira data].

SILVA, K. D. da. **O ensino das Leis de Kepler com o uso do simulador Planetary Orbit**. 2017. 68 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Licenciatura em Física, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Santa Cruz/RN, 2017.

SILVA, T. T. A produção social da identidade e da diferença. In: SILVA, T. T. (Org.). **Identidade e diferença: a perspectiva dos estudos culturais**. Petrópolis: Vozes, 2010. p. 73-102.

SILVA, V. R. R. da. **Sequências didáticas para o ensino das Leis de Kepler**. 2017. 136 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda/RJ, 2017.

SOUZA, J. V. da S. **Estudo de Órbitas Planetárias Utilizando Python**: uma proposta para o ensino de Astronomia. 2024. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Petrolina-PE, 2024.

STEWART, James. **Cálculo**. Volume 2. 5. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

TEIXEIRA, Rodrigo Marques. **Tecnologias Digitais no Ensino de Física**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2018.

UNL. **Nebraska Astronomy Applet Project**. Lincoln: University of Nebraska-Lincoln, 2024. Disponível em: <https://astro.unl.edu/nativeapps/>. Acesso em: 22 set. 2025.

VALENTE, J. A. **Educação a distância**: pontos e contrapontos. São Paulo: Summus, 2014.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. 7. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

ZACHARIA, Z. C.; ANDERSON, O. R. The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing a laboratory inquiry-based experiment on students' conceptual understanding of physics. **American Journal of Physics**, v. 83, n. 6, p. 558-567, 2015.

APÊNDICE A



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
CAMPUS BLUMENAU - BNU
PROGRAMA DE MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL NO ENSINO DE FÍSICA

Gilson Kienen

**Uma Sequência de Ensino e Aprendizagem para as Leis de Kepler utilizando
uma simulação computacional.**

BLUMENAU/SC

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Esley Scatena, pela orientação, dedicação e paciência ao longo desta caminhada. Sua disponibilidade, apoio e contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa e para meu crescimento acadêmico e profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), pelo apoio institucional e pela oportunidade de formação continuada.

Aos professores e colegas do MNPEF, que compartilharam conhecimentos, experiências e reflexões que enriqueceram este percurso.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade em avaliar este trabalho, pelas críticas e sugestões que certamente contribuíram para seu aprimoramento.

Aos meus alunos da Escola EEB Hercílio Deeke, pela participação nas atividades, pelas interações e pelo aprendizado mútuo que se estabeleceu ao longo da aplicação do produto educacional.

À minha família, pelo apoio incondicional, incentivo e compreensão nos momentos de ausência. Aos meus filhos, que são fonte de motivação e inspiração diária, e que me impulsionaram a seguir firme nesta caminhada.

Aos amigos e colegas, pela amizade, palavras de incentivo e companheirismo durante esta etapa.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação, deixo registrado o meu sincero agradecimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

1 CARTA AO PROFESSOR.....	4
2 Referência didático pedagógica.....	6
3 O simulador do Sistema Solar.....	6
4 ENCONTROS.....	7
3.1 Encontro 1.....	8
3.2 Encontro 2.....	13
3.3 Encontro 3.....	20
3.4 Encontro 4.....	26
3.5 Encontro 5.....	31
5 BIBLIOGRAFIA.....	33

CARTA AO PROFESSOR

Caro(a) professor(a),

Este produto educacional é fruto da dissertação de mestrado intitulada “*A simulação computacional como instrumento pedagógico no ensino das leis de Kepler na Educação Básica*”, desenvolvida por Gilson Kienen sob a orientação do Professor Doutor Esley Scatena Gonçalves, no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física (MNPEF). O material apresentado consiste em uma sequência didática de cinco encontros destinada ao ensino das Leis de Kepler para estudantes do Ensino Médio, utilizando como recurso central o simulador educacional **Sistema Solar Galileu** (disponível em: https://scatena.sites.ufsc.br/astrofísica/sistema_solar/index.xhtml). Este software, desenvolvido pelo orientador desta pesquisa, possibilita a exploração interativa de órbitas planetárias, variações de velocidade orbital e relações entre períodos e distâncias, alinhando-se de maneira direta aos objetivos estabelecidos pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para a área de Ciências da Natureza.

A estrutura do produto foi organizada de modo a oferecer planos de aula detalhados para cada encontro, incluindo objetivos, cronogramas e recursos, além de atividades práticas baseadas no simulador. Essas atividades foram concebidas segundo a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos — contextualização, problematização e aplicação —, favorecendo uma dinâmica de ensino em que os conceitos são apresentados, discutidos e aplicados de maneira progressiva.

Em relação à avaliação, o material contempla um questionário inicial para diagnóstico dos conhecimentos prévios dos alunos, formulários de feedback aplicados ao final de cada encontro e um pós-questionário avaliativo no quinto encontro. Além disso, inclui recursos complementares, como vídeos, roteiros de simulação e um manual de orientações que auxiliam o professor na condução das atividades.

A aplicação dessa proposta prevê algumas recomendações específicas. Uma delas refere-se à flexibilidade no registro das atividades, que podem ser

submetidas tanto via Google Forms quanto de forma manuscrita, desde que os prazos sejam respeitados. Considerando as possíveis dificuldades iniciais, recomenda-se a realização de uma sessão introdutória destinada a familiarizar os alunos com o simulador, especialmente no que se refere à construção de gráficos e à interpretação de dados orbitais. A metodologia foi planejada para favorecer o trabalho em grupos, estimulando a colaboração, a troca de ideias e a resolução conjunta de problemas.

O objetivo pedagógico central desta sequência é superar abordagens mecanizadas do ensino de Física, contextualizando as Leis de Kepler por meio de fenômenos astronômicos observáveis. Busca-se promover uma aprendizagem significativa, nos termos propostos por Ausubel, mediante a ancoragem dos novos conteúdos em conhecimentos prévios e pelo estímulo ao pensamento crítico, sempre apoiada na perspectiva metodológica dos Três Momentos Pedagógicos.

Espera-se que este material contribua não apenas para clarificar a construção metodológica da sequência, mas também para fortalecer a relação ensino-aprendizagem, transformando conceitos abstratos em experiências concretas, motivadoras e enriquecedoras para os estudantes.

Agradeço a atenção e desejo uma proveitosa aplicação!

Atenciosamente, *Gilson Kienen*

Mestrando em Ensino de Física

2 Referência didático pedagógica

A sequência didática proposta está fundamentada na articulação entre a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos, proposta por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002). Essa abordagem visa promover uma aprendizagem ativa e contextualizada, na qual o conhecimento prévio dos alunos é valorizado e os conceitos científicos são construídos de forma progressiva e significativa.

3 O simulador do Sistema solar

O Sistema Solar Galileu é um software educacional desenvolvido pelo Professor Dr. Esley Scatena Gonçalves (UFSC), que simula com precisão científica a dinâmica do Sistema Solar. Criado especificamente para fins didáticos, este simulador permite a visualização interativa de órbitas planetárias, movimentos celestes e parâmetros astronômicos, sendo particularmente relevante para o ensino das Leis de Kepler no Ensino Médio. O software está disponível gratuitamente em: https://scatena.sites.ufsc.br/astrologia/sistema_solar/index.xhtml

Características Principais:

1. Interface Didática Intuitiva:
 - Menu de navegação simplificado com seleção individual de planetas e corpos celestes
 - Controles para ajuste temporal (aceleração/desaceleração da simulação)
 - Opções de visualização de órbitas e trajetórias
2. Recursos Específicos para Ensino das Leis de Kepler:
 - Visualização de órbitas elípticas com indicação de excentricidade (1ª Lei)
 - Representação gráfica da velocidade areal (2ª Lei)
 - Ferramentas para análise comparativa de períodos orbitais e distâncias médias (3ª Lei)
3. Base de Dados Científica:
 - Informações precisas sobre parâmetros físicos e orbitais
 - Dados atualizados de massas, diâmetros e distâncias
 - Representação em escala adaptada para fins educacionais

Vídeo Demonstrativo

Para auxiliar na compreensão e utilização do simulador, foi produzido um tutorial em vídeo que demonstra:

- Funcionalidades básicas de navegação e configuração
- Exemplos de aplicação das Leis de Kepler
- Sugestões de atividades pedagógicas

Link do vídeo explicativo:
<https://drive.google.com/file/d/1qDZKroKxXZ33Y-EtCgiadGgvi34-goav/view?usp=sharing>

Aplicação na Sequência Didática

O simulador foi integrado à sequência didática de cinco encontros, articulando-se com:

- Teoria de Ausubel: Servindo como organizador prévio para conceitos astronômicos complexos
- Três Momentos Pedagógicos:
 - *Contextualização*: Exploração inicial do Sistema Solar
 - *Problematização*: Análise de anomalias orbitais e questionamentos
 - *Sistematização*: Validação matemática das Leis de Kepler

Vantagens Educacionais

- Gratuidade e Acessibilidade: Disponível online sem custos
- Alinhamento Curricular: Atende às competências da BNCC para Física e Astronomia
- Versatilidade Pedagógica: Adaptável a diferentes abordagens metodológicas
- Interface em português: Facilita o uso por estudantes brasileiros

Requisitos Técnicos

- Navegador web atualizado (Chrome, Firefox ou Edge)
- Conexão com internet para acesso online
- Resolução mínima de 1024x768 pixels

4 ENCONTROS

PLANO DE AULA (AULA 1)

Plano de aula: Data:
Dados de Identificação: Escola: Professor: Disciplina: Física Série/Turma: Trimestre:
Tema: Astronomia Leis de Kepler - Introdução
Objetivo: Despertar o interesse pela astronomia: mostrar aos alunos que a astronomia é uma ciência fascinante, repleta de curiosidades e mistérios, de forma a estimular o interesse e a curiosidade dos estudantes pelo assunto. Fazer um levantamento dos conhecimentos prévios (Aplicação do questionário); Introdução a Astronomia Apresentar os modelos geocêntrico e heliocêntrico no contexto histórico. Descrever o movimento planetário ao redor do Sol. Apresentação do site. https://scatena.sites.ufsc.br/astrologia/sistema_solar/index.xhtml
Recursos: Livros texto, projetor multimídia, vídeos e imagens, simulações com o software.
Cronograma: Aula de 45 minutos: Introdução - 10 minutos (questionar os alunos sobre o seu conhecimento prévio em relação à astronomia) Vídeo 1 - 4 minutos. Introdução - 10 minutos (Questionar os alunos sobre o seu conhecimento em relação aos modelos geocêntrico e heliocêntrico) Vídeo 2 - 4 minutos. Apresentação do site - Momento para apresentação da ferramenta Atividade 1 - Órbitas planetárias - 15 minutos. Pergunta para obter feedback dos alunos ao término de cada aula

SLIDES AULA 1

<https://docs.google.com/presentation/d/1b1HZKi5aJS8vDedfPXEst9TIOFDOWkxP/edit?usp=sharing&ouid=107720320209358320585&rtpof=true&sd=true>

VÍDEO TUTORIAL – SITE

https://scatena.sites.ufsc.br/astronomia/sistema_solar/index.xhtmll

<https://drive.google.com/file/d/1qDZKroKxXZ33Y-EtCgiadGgvi34-goav/view?usp=sharing>

Nome: _____ N.º: _____

Série: _____ Turma: _____ Turno: _____ Data: ____/____/____

Professor(a): _____ Valor: _____ Nota: _____

Pré-questionário para levantamento de conhecimentos prévios

1) Qual é o nome da estrela mais próxima da Terra?

- a) Alpha Centauri
- b) Sol
- c) Sirius
- d) Próxima Centauri

2) O que é uma órbita?

- a) O tempo que um planeta demora para dar uma volta ao redor do Sol.
- b) A trajetória descrita por um planeta ao redor do Sol.
- c) É a distância do planeta até o Sol.
- d) É o tamanho de um planeta.

3) O que é um eclipse solar?

- a) Quando a Lua bloqueia a luz do Sol, projetando sua sombra na Terra.
- b) Quando a Terra bloqueia a luz do Sol, projetando sua sombra na Lua.
- c) Quando a Lua está alinhada entre o Sol e a Terra, mas não bloqueia completamente a luz do Sol.
- d) Quando a Lua está alinhada entre o Sol e a Terra, bloqueando completamente a luz do Sol.

4) Qual é o planeta conhecido por ter anéis ao seu redor?

- a) Marte
- b) Saturno
- c) Vênus
- d) Mercúrio

5) Qual é o nome do cientista que formulou as leis do movimento planetário conhecidas como leis de Kepler?

- a) Isaac Newton
- b) Johannes Kepler
- c) Galileu Galilei
- d) Albert Einstein

6) Durante sua órbita em torno do Sol, a velocidade de um planeta:

- a) Permanece constante
- b) É igual a zero
- c) É a maior possível quando ele está mais distante do Sol
- d) É a maior possível quando ele está mais próximo do Sol

7) Qual é o movimento que a Terra realiza ao redor do Sol?

- a) Rotação
- b) Translação
- c) Oscilação
- d) Reflexão

8) Qual é o único satélite natural da Terra?

- a) Lua
- b) Marte
- c) Vênus
- d) Mercúrio

9) Qual é o movimento que a Terra realiza em torno de seu próprio eixo?

- a) Translação
- b) Rotação
- c) Oscilação
- d) Reflexão

10) Qual o formato da órbita de um planeta em torno do sol?

- a) Oval
- b) Elipse
- c) Linear
- d) Nenhuma das anteriores

Nome: _____ N.º: _____

Série: _____ Turma: _____ Turno: _____ Data: ____/____/____

Professor(a): _____ Valor: _____ Nota: _____

Atividade 1 - Órbita Planetárias

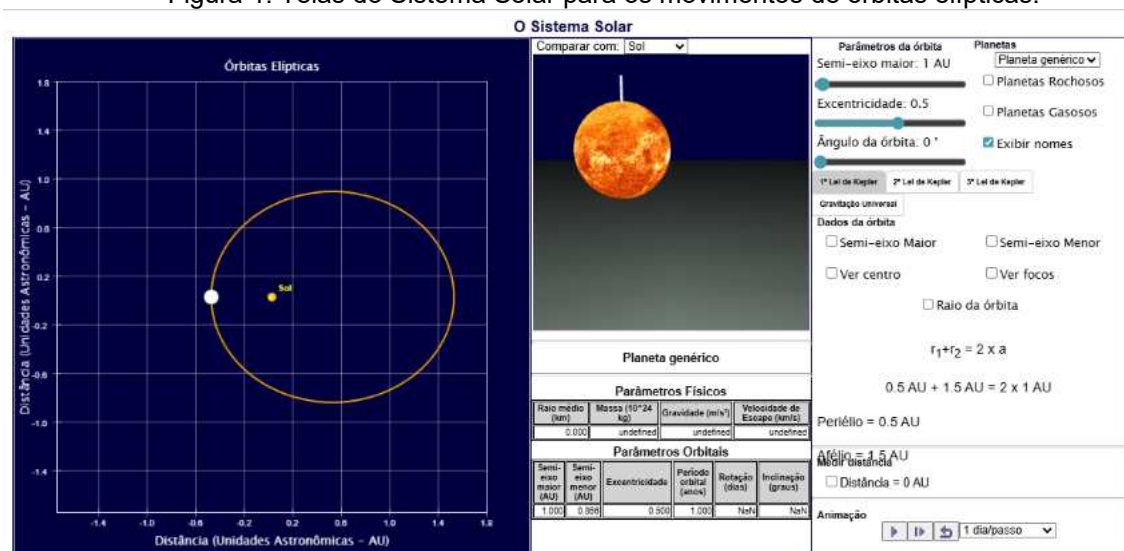
Nesta atividade vamos explorar as características das órbitas dos planetas do Sistema Solar e verificar a validade das leis de Kepler.

No simulador é possível selecionar os parâmetros orbitais para os planetas do Sistema Solar utilizando o menu Planetas, além de exibir as órbitas dos planetas rochosos e gasosos, em escala. Na janela do meio são exibidas imagens dos planetas comparados entre si, em escala também, conforme a Figura 1.

Ainda, em cada uma das abas é possível encontrar controles para explorar as leis de Kepler. É possível também medir distâncias clicando na caixa Medir distância e clicando com o botão esquerdo do mouse para marcar o início e clicando novamente para marcar o final da distância desejada.

Por fim, no menu Animação, você pode dar início à simulação e verificar como são as órbitas e como se comparam as rotações dos planetas. É possível alterar o número de dias transcorridos por passo da simulação.

Figura 1: Telas do Sistema Solar para os movimentos de órbitas elípticas.



Fonte: Feito pelo autor com base no software O Sistema Solar

SUGESTÃO DE GABARITO DAS ATIVIDADES**PRÉ QUESTIONÁRIO**

- 01 - B
- 02 - B
- 03 - A
- 04 - B
- 05 - B
- 06 - D
- 07 - B
- 08 - A
- 09 - B
- 10 - B

Pergunta para obter feedback dos alunos ao término de cada aula

Em uma escala de 1 a 5, como você classificaria sua compreensão geral do conteúdo abordado nesta aula?

- a) 1 - Muito baixa.
- b) 2 - Baixa.
- c) 3 - Moderada.
- d) 4 - Alta.
- e) 5 - Muito alta.

PLANO DE AULA (AULA 2)

Plano de aula:
Data:
Dados de Identificação:
Escola:
Professor:
Disciplina: Física
Série/Turma:
Trimestre:
Tema:
Astronomia 1ª Lei de Kepler
Objetivo:
Promover a compreensão dos principais conceitos iniciais para o aprendizado da primeira Lei de Kepler. Entender o conceito de órbita elíptica e como ela é diferente de outras formas de órbita. Saber identificar as principais características da elipse, como os focos, eixo maior e eixo menor, e como elas são relacionadas à órbita.
Desenvolvimento do Tema:
Apresentação de um vídeo para a introdução, está em: https://www.youtube.com/watch?v=iEr39Gg4VcQ (Vídeo 1) Explicação sobre o tema abordado Utilização do site.
Recursos:
Livros texto, projetor multimídia, vídeos e imagens, simulações com o software.
Cronograma:
Aula de 45 minutos:
Vídeo 1 - 4 minutos. Explicação - 10 minutos. Atividade 2 - Responder às questões usando O simulador do Sistema Solar. (30 minutos) Pergunta para obter feedback dos alunos ao término de cada aula

SLIDES AULA 2 – PRIMEIRA LEI DE KEPLER

<https://docs.google.com/presentation/d/1yQQHtL3ZCzSkgFhkozOQiQuStmW0Um4P/edit?usp=sharing&ouid=107720320209358320585&rtpof=true&sd=true>

Nome: _____ N.º: _____

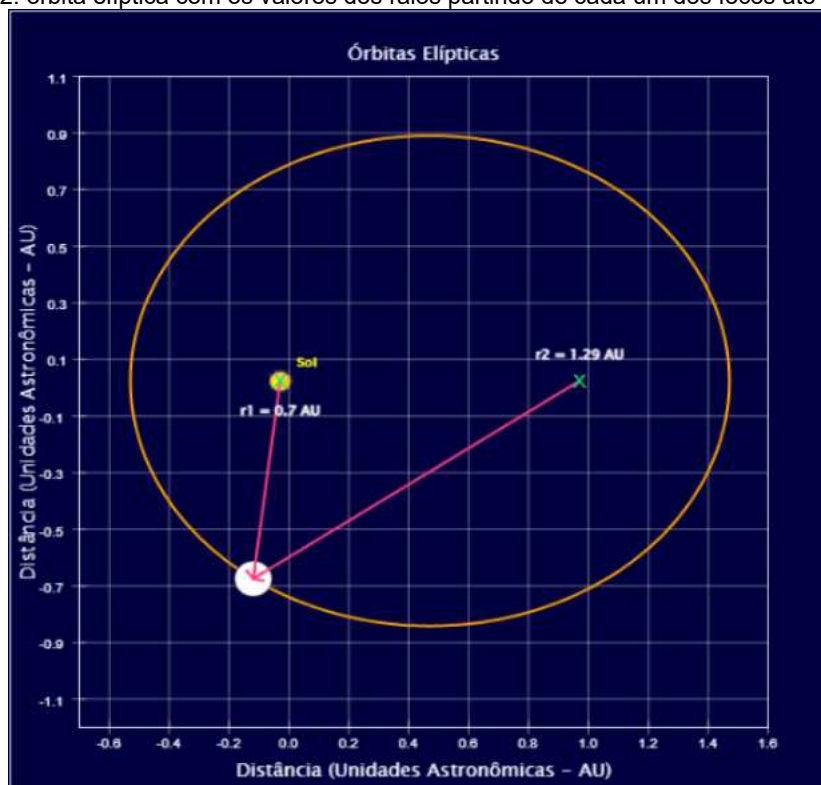
Série: _____ Turma: _____ Turno: _____ Data: ____/____/____

Professor(a): _____ Valor: _____ Nota: _____

Atividade 2 - Responder as questões com base no simulador.

Para entendermos a primeira lei de Kepler precisamos saber o que é uma elipse e seus focos. No menu **Dados da órbita**, clique em *Ver centro e Ver focos*. Agora, ajuste os valores de *Excentricidade* e *Semi-eixo maior* para ver as diferentes formas que as elipses podem tomar. Você pode utilizar o botão de rolagem do mouse para aproximar ou afastar a imagem. Os pontos marcados com um X são os chamados *focos* da elipse, conforme figura 2. Chamaremos de r_1 a distância do foco da esquerda (onde fica o Sol) ao planeta e r_2 a distância do foco da direita ao planeta.

Figura 2: órbita elíptica com os valores dos raios partindo de cada um dos focos até o planeta



Fonte: Feito pelo autor com base no software O Sistema Solar

1. No menu **Dados da órbita**, selecione as caixas Semi-eixo maior e Semieixo menor para exibí-los. Ajuste o valor de Semi-eixo maior para ver seu efeito na elipse. Agora, altere o valor da Excentricidade. O que acontece com os semieixos maior e menor? E o que acontece com os focos?

R: _____

2. Ajuste o semieixo maior para um valor de 2 AU e excentricidade 0. Selecione a opção Raio da órbita, como na Figura 2. Quais os valores de r_1 e r_2 encontrados?

R: _____

3. Altere agora o valor da excentricidade para 0,4 e mantenha o valor do semieixo maior. Pressione o botão ► para iniciar a simulação. Qual a menor distância que o planeta fica do Sol? E a maior distância?

R: _____

4. Mantendo os parâmetros para a órbita, encontre o ponto no qual os valores de r_1 e r_2 são iguais. Faça um esboço da elipse, marque o local deste ponto e os raios r_1 e r_2 .

R: _____

5. Calcule $r_1 + r_2$ e compare com o semieixo maior. Existe alguma relação? Isso é válido para todos os pontos da elipse?

R: _____

6. No menu **planetas**, busque pelo planeta que possui a menor excentricidade. Qual a diferença do afélio e do periélio para a órbita deste planeta?

R: _____

7. Qual planeta possui a maior excentricidade? Qual a diferença do afélio e periélio para este planeta?

R: _____

SUGESTÃO DE ATIVIDADE EXTRA PARA OS ALUNOS REALIZAREM EM CASA

Construindo uma Elipse: Uma Atividade Prática para a Aula de Física

Introdução:

A elipse é uma curva plana fechada que possui dois pontos fixos chamados focos. A soma das distâncias de qualquer ponto da elipse aos focos é sempre constante. Essa propriedade é fundamental para entendermos o movimento dos planetas ao redor do Sol, por exemplo.

Materiais Necessários:

- Uma folha de papel
- Dois tachinhas ou pregos
- Um barbante
- Um lápis

Procedimento:

1. Fixando os focos:

- Escolha dois pontos na folha de papel e fixe os tachinhas ou pregos nesses pontos.

Esses pontos representarão os focos da elipse.

2. Preparando o barbante:

- Corte um pedaço de barbante com o comprimento desejado. O comprimento do barbante determinará o tamanho da elipse.

3. Traçando a elipse:

- Amarre as duas extremidades do barbante nas tachinhas.
- Estique o barbante com o lápis e mova o lápis ao redor das tachinhas, mantendo o barbante sempre tensionado.
- O lápis traçará uma curva suave, que é a elipse.

Explicação Física:

- **Lei das Áreas de Kepler:** Ao construir a elipse, você está visualizando uma das leis de Kepler sobre o movimento planetário. Essa lei estabelece que uma linha que une um planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.

- **Excentricidade:** A distância entre os focos e o comprimento do barbante determinam a excentricidade da elipse. Quanto mais próximos os focos, mais alongada será a elipse.

Questões para Discussão:

- Qual a relação entre o comprimento do barbante e o tamanho da elipse?
- O que acontece com a forma da elipse quando os focos se aproximam ou se afastam?
- Como essa atividade se relaciona com o movimento dos planetas ao redor do Sol?
- Quais outras aplicações da elipse você conhece?

Observações:

- Para uma melhor visualização, utilize uma folha de papel grande e um barbante colorido.
- Incentive os alunos a variarem o comprimento do barbante e a posição dos focos para observar as diferentes formas de elipses.
- Explore as propriedades da elipse, como os eixos maior e menor, e a relação entre a elipse e o círculo.

ATIVIDADE 2 – SUGESTÃO DE GABARITO

1. No menu Dados da órbita, selecione as caixas Semi-eixo maior e Semieixo menor para exibí-los. Ajuste o valor de Semi-eixo maior para ver seu efeito na elipse. Agora, altere o valor da Excentricidade. O que acontece com os semieixos maior e menor? E o que acontece com os focos?

SEMI – EIXOS maior: Aumentando o semieixo maior, a elipse se afasta do centro, aumentando ambos os semieixos.

EXCENTRICIDADE:

0: Elipse se torna uma circunferência, com semieixos iguais e focos coincidentes no centro.

Entre 0 e 1: Elipse se torna mais alongada, com semieixo maior que o menor e focos se afastam do centro.

Focos:

Distância entre focos: Aumenta com a excentricidade.

Posição: Sempre na linha principal da elipse, mais próximos em órbitas com alta excentricidade.

2. Ajuste o semieixo maior para um valor de 2 AU e excentricidade 0. Selecione a opção Raio da órbita, como na Figura 2. Quais os valores de r_1 e r_2 encontrados?

$r_1 = 2$ AU (semieixo maior)

$r_2 = 2$ AU (semieixo maior)

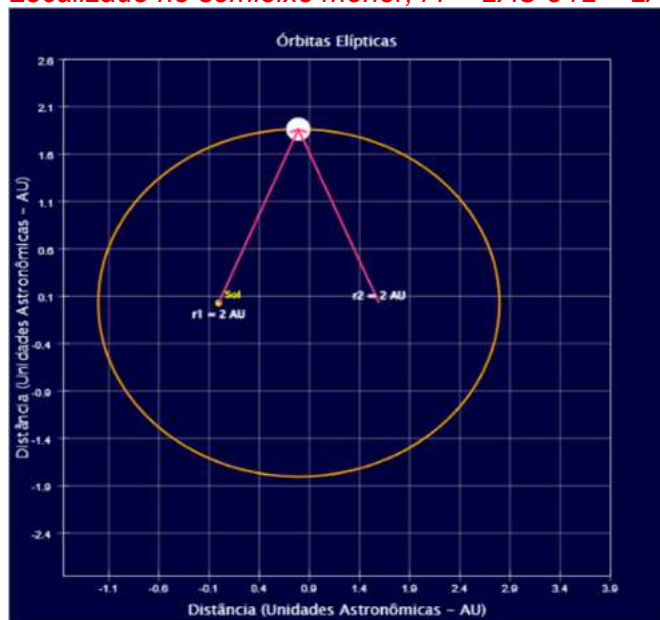
3. Altere agora o valor da excentricidade para 0,4 e mantenha o valor do semieixo maior. Pressione o botão ► para iniciar a simulação. Qual a menor distância que o planeta fica do Sol? E a maior distância?

Menor distância (periélio): 1,2 AU

Maior distância (afélio): 2,8 AU

4. Mantendo os parâmetros para a órbita, encontre o ponto no qual os valores de r_1 e r_2 são iguais. Faça um esboço da elipse, marque o local deste ponto e os raios r_1 e r_2 .

Localizado no semieixo menor, $r_1 = 2$ AU e $r_2 = 2$ AU ($r_1 = r_2$)



5. Calcule $r_1 + r_2$ e compare com o semieixo maior. Existe alguma relação? Isso é válido para todos os pontos da elipse?

Relação entre $r_1 + r_2$ e semieixo maior:

$r_1 + r_2 = 2a$ será para qualquer ponto da elipse.

Essa relação é derivada da definição de elipse e propriedades geométricas dos focos.

Ou ainda: a soma de r_1 e r_2 é igual ao dobro do semieixo maior. Isso é válido para todos os pontos da elipse e é uma característica fundamental das elipses.

6. No menu planetas, busque pelo planeta que possui a menor excentricidade. Qual a diferença do afélio e do periélio para a órbita deste planeta? 7. Qual planeta possui a maior excentricidade? Qual a diferença do afélio e periélio para este planeta?

O planeta com menor excentricidade é Netuno.

Periélio = 29,73 AU

Afélio = 30,33

7. Qual planeta possui a maior excentricidade? Qual a diferença do afélio e periélio para este planeta?

Planeta com maior excentricidade é Mercúrio

Periélio: 0,3 AU

Afélio: 0,5 AU

PLANO DE AULA (AULA 3)

Plano de aula: Data:
Dados de Identificação: Escola: Professor: Disciplina: Física Série/Turma: Trimestre:
Tema: Astronomia 2ª Lei de Kepler
Objetivos: Propiciar o entendimento que velocidade orbital de um planeta não é constante, mas varia de acordo com a posição do planeta em sua órbita. Compreender o movimento dos planetas em suas órbitas elípticas e a relação entre a velocidade e a área varrida pela reta Sol-planeta Aplicar a segunda lei de Kepler utilizando o site. Mostrar que a velocidade de um planeta varia em diferentes partes de sua órbita. Descrever a relação entre a velocidade do planeta em sua órbita e a área que ele varre em um determinado período.
Desenvolvimento do Tema: Explicação do assunto. Utilização do site.
Recursos: Livros texto, projetor multimídia, vídeos e imagens, simulações com o software.
Cronograma: Aula de 45 minutos: Explicação - 10 minutos. Atividade 3 (Discutir os momentos pedagógicos, todas as etapas) - Responder às questões usando O simulador do Sistema Solar 35 minutos Pergunta para obter feedback dos alunos ao término de cada aula

SLIDES AULA 3 – 2ª LEI DE KEPLER

https://docs.google.com/presentation/d/1m771-hZ_IFfGXtqfSw4p6wzQpGf87tSd/edit?usp=sharing&ouid=107720320209358320585&rtpof=true&sd=true.

Nome: _____ N.º: _____

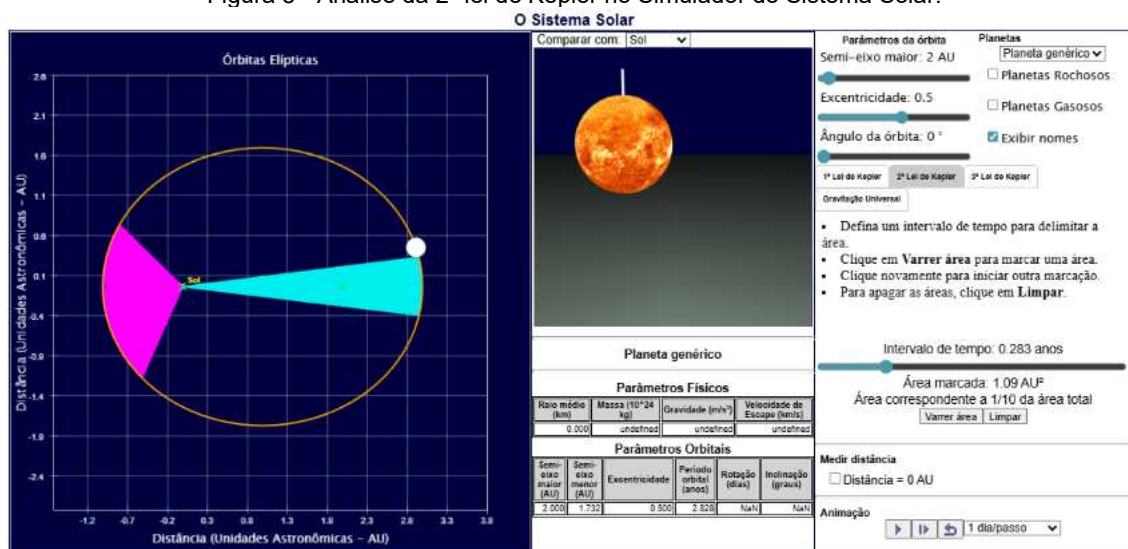
Série: _____ Turma: _____ Turno: _____ Data: ____/____/____

Professor(a): _____ Valor: _____ Nota: _____

Atividade 3 - Responder as questões com base no simulador.

A segunda lei de Kepler indica que existe uma relação entre a distância que um planeta se encontra do Sol e a velocidade com a qual ele percorre sua órbita. A forma utilizada por Kepler para explicitar essa relação foi por meio das 'áreas varridas' durante um mesmo intervalo de tempo. Para entendermos o que isso significa, clique na aba **2ª Lei de Kepler** (conforme Figura 3).

Figura 3 - Análise da 2ª lei de Kepler no Simulador do Sistema Solar.



Fonte: Feito pelo autor com base no software O Sistema solar

Você pode selecionar um intervalo de tempo utilizando a barra deslizante para determinar qual a área varrida neste intervalo. Em seguida, basta clicar em **Varrer área** para visualizar a área demarcada. Você pode adicionar quantas áreas quiser e clicar em **Apagar** para apagá-las. Note que o valor da área demarcada é exibido, em AU².

1. Clique no botão ↺ para reiniciar a simulação. Em seguida, na aba **2ª Lei de Kepler** e ajuste o intervalo de tempo para 0.1 anos. Clique em ▶ para iniciar a simulação e em **Varrer área** para demarcar uma área varrida pelo planeta no intervalo definido. Qual o valor da área demarcada, em AU². Repita o processo para outros trechos da órbita do planeta e verifique o valor da área varrida.

R: _____

2. Ajuste o semieixo maior para 2 AU e a excentricidade para 0.5 e, voltando à aba **1ª Lei de Kepler**, selecione **Raio da órbita** e clique em ▶ para iniciar a simulação. Identifique o afélio e o periélio. Em seguida, na aba **2ª Lei de Kepler**, ajuste o intervalo de tempo para 0.1 anos e

clique em Varrer área quando o planeta estiver próximo do periélio. Qual o valor da área? Repita o processo para o afélio. Quais as diferenças entre as áreas marcadas?

R: _____

3. Comparando os trechos percorridos, você diria que o planeta percorreu uma distância maior durante o afélio e periélio?

R: _____

4. Se o intervalo de tempo fosse o mesmo, você diria que a velocidade do planeta no afélio é maior, menor ou igual a do periélio?

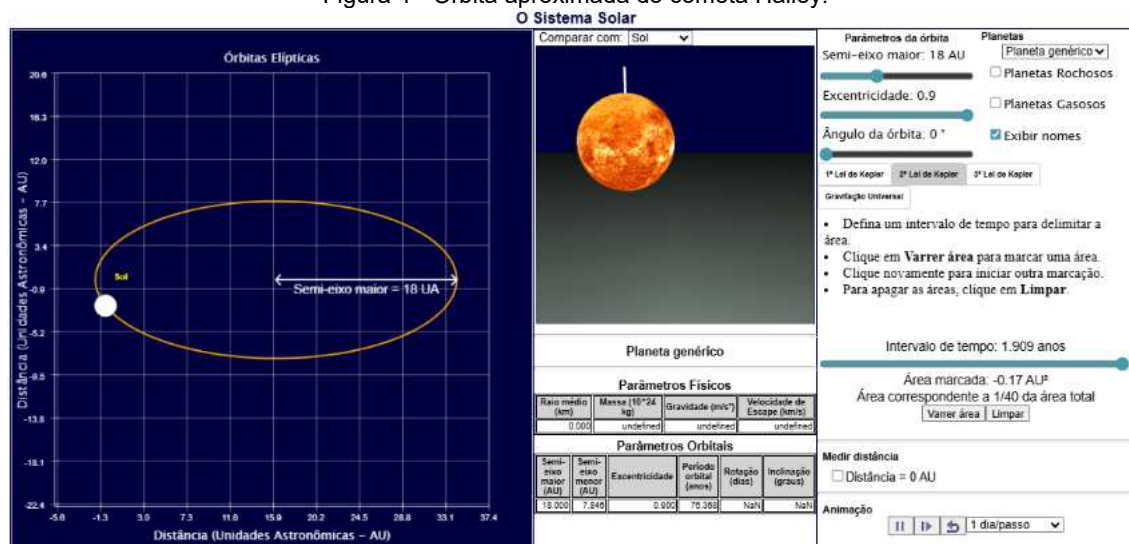
R: _____

5. A órbita do cometa Halley tem um semieixo maior de aproximadamente 18 AU, e uma excentricidade de aproximadamente 0.9, conforme a Figura 4. Coloque estes parâmetros no simulador e inicie a animação clicando em ►. O movimento do planeta é mais rápido quando ele está próximo do Sol ou distante do Sol?

R: _____

OBS: Você pode mudar a velocidade da animação escolhendo outras taxas como 100 dias/passos ou 10 dias/passos.

Figura 4 - Órbita aproximada do cometa Halley.



Fonte: Feito pelo autor com base no software O Sistema solar

Uma característica dos cometas é justamente a excentricidade alta de suas órbitas. O cometa Halley tem, na verdade, uma excentricidade de $e = 0,967$

ATIVIDADE 3 – SUGESTÃO DE GABARITO

1. Clique no botão  para reiniciar a simulação. Em seguida, na aba 2ª Lei de Kepler e ajuste o intervalo de tempo para 0.1 anos. Clique em  para iniciar a simulação e em **Varrer área** para demarcar uma área varrida pelo planeta no intervalo definido. Qual o valor da área demarcada, em AU^2 . Repita o processo para outros trechos da órbita do planeta e verifique o valor da área varrida.

TRECHO 1:

Área marcada: 0,31 AU^2

Área correspondente a 1/10 da área total.

TRECHO 2:

Área marcada: 0,31 AU^2

Área correspondente a 1/10 da área total.

TRECHO 3:

Área marcada: 0,31 AU^2

Área correspondente a 1/10 da área total.

Area varrida é constante em intervalos de tempo iguais, independentemente da posição do planeta na órbita.

2. Ajuste o semieixo maior para 2 AU e a excentricidade para 0.5 e, voltando à aba 1ª Lei de Kepler, selecione **Raio da órbita** e clique em  para iniciar a simulação. Identifique o afélio e o periélio. Em seguida, na aba 2ª Lei de Kepler, ajuste o intervalo de tempo para 0.1 anos e clique em **Varrer área** quando o planeta estiver próximo do periélio. Qual o valor da área? Repita o processo para o afélio. Quais as diferenças entre as áreas marcadas?

AFÉLIO = 3AU

PERIÉLIO = 1 AU

PERIÉLIO = 0,39 AU^2

AFÉLIO = 0,39 AU^2

As áreas varridas no periélio e afélio são praticamente iguais, mesmo com distâncias diferentes do Sol.

3. Comparando os trechos percorridos, você diria que o planeta percorreu uma distância maior durante o afélio e periélio?

Não necessariamente, de acordo com a Segunda Lei de Kepler, o segmento de reta que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais. Isso significa que, em intervalos de tempo iguais, o planeta "cobre" a mesma área em sua órbita, independentemente da sua posição.

4. Se o intervalo de tempo fosse o mesmo, você diria que a velocidade do planeta no afélio é maior, menor ou igual a do periélio?

A velocidade do planeta não é constante ao longo da órbita. No periélio (ponto mais próximo do Sol), a velocidade é maior, enquanto no afélio (ponto mais distante do Sol), a velocidade é menor.

5. A órbita do cometa Halley tem um semieixo maior de aproximadamente 18 AU, e uma excentricidade de aproximadamente 0.9, conforme a Figura 4. Coloque estes parâmetros no simulador e inicie a animação clicando em ▶. O movimento do planeta é mais rápido quando ele está próximo do Sol ou distante do Sol?

Com base nos parâmetros fornecidos (semieixo maior de 18 AU e excentricidade de 0,9) e utilizando o simulador, podemos observar que o movimento do cometa Halley apresenta uma velocidade maior quando ele está próximo ao Sol (periélio) e uma velocidade menor quando está distante do Sol (afélio).

A excentricidade da órbita (que mede a quão alongada ela é em relação a um círculo) influencia diretamente na velocidade do cometa. Em órbitas com alta excentricidade, como a do cometa Halley, a diferença de velocidade entre o periélio e o afélio é mais acentuada.

PLANO DE AULA (AULA 4)

Plano de aula: Data:
Dados de Identificação: Escola: Professor: Disciplina: Física Série/Turma: Trimestre:
Tema: Astronomia 3ª Lei de Kepler
Objetivos Compreender a relação entre o período orbital e o raio médio de órbita de um planeta. Desenvolver habilidades de observação e análise de dados, bem como habilidades matemáticas para aplicação das fórmulas envolvidas na lei. Utilizar fórmulas matemáticas para calcular o período e o raio médio de órbita de um planeta.
Desenvolvimento do Tema: Explicação do assunto. Utilização do site.
Recursos: Livros texto, projetor multimídia, vídeos e imagens, simulações com o software.
Cronograma: Aula de 45 minutos: Explicação - 10 minutos. Atividade 4 - Responder às questões usando O simulador do Sistema Solar 35 minutos Ao término da aula os alunos serão instigados a trazer para a última aula perguntas, fatos, fenômenos relacionados às leis de Kepler e astronomia. Pergunta para obter feedback dos alunos ao término de cada aula

SLIDES AULA 4 – 3ª LEI DE KEPLER

[https://docs.google.com/presentation/d/1UFvJXW1j-0JxvwwegyZF6P2fUmsPOEMr/edit?usp=sharing&ouid=107720320209358320585&rt](https://docs.google.com/presentation/d/1UFvJXW1j-0JxvwwegyZF6P2fUmsPOEMr/edit?usp=sharing&ouid=107720320209358320585&rt=pof=true&sd=true)

Nome: _____ N.º: _____

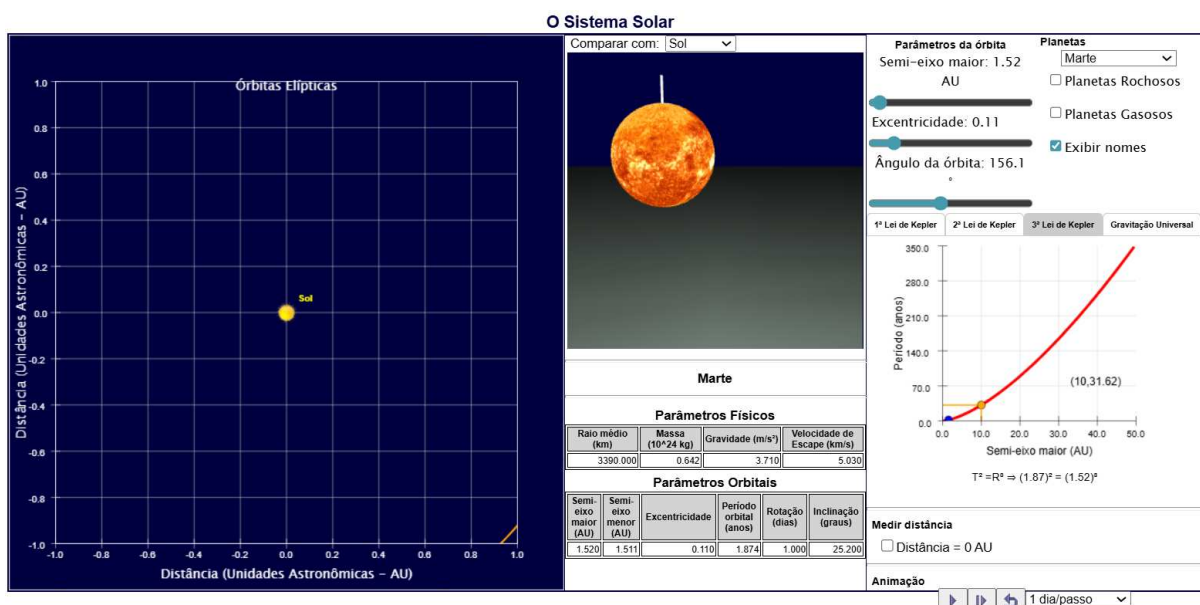
Série: _____ Turma: _____ Turno: _____ Data: ____/____/____

Professor(a): _____ Valor: _____ Nota: _____

Atividade 4 - Responder as questões com base no simulador.

A 3ª Lei de Kepler, de certa forma, une os elementos das outras duas. A primeira lei nos diz que as órbitas são elípticas, com o Sol num dos focos, o que quer dizer que exceto por uma órbita perfeitamente circular, os planetas eventualmente estarão a distâncias diferentes do Sol em trechos diferentes de sua órbita.

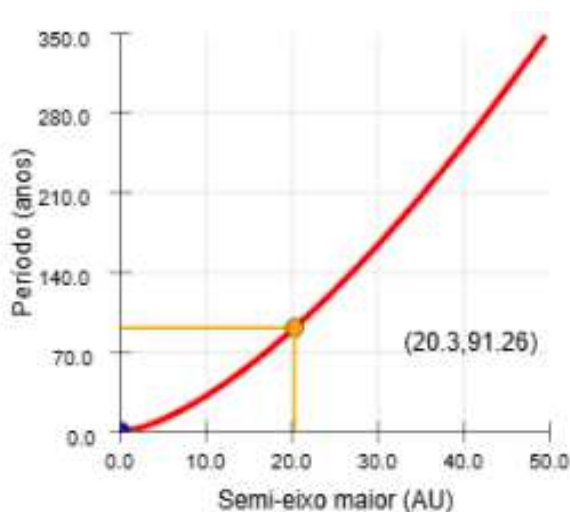
Figura 5: Simulador do sistema Solar exibindo a 3ª Lei de Kepler



Fonte: Feito pelo autor com base no software O Sistema solar

Por outro lado, a segunda lei nos mostra que quanto mais longe do Sol o planeta está, mais vagarosamente ele se move, de modo que a área varrida por uma reta que une o Sol ao planeta num intervalo de tempo fixo é a mesma para qualquer trecho da órbita. As duas leis, portanto, sugerem que exista uma relação entre essa distância que o planeta se encontra do Sol e o tempo que ele leva para completar a órbita. Com o auxílio da terceira lei de Kepler, se conhecermos o período de um planeta podemos calcular facilmente o semieixo maior de sua órbita (Figura 5).

Figura 6 - A relação da 3ª Lei de Kepler nos permite determinar que um planeta cuja órbita possui um semieixo maior de 20,3 AU possui um período de 91,7 anos terrestres.



Fonte: Feito pelo autor com base no software O Sistema solar

1. Clique em  para reiniciar a simulação. Selecione o planeta *Mercúrio* no menu **Planetas**. Clique na aba **3ª Lei de Kepler**. O gráfico exibido (Figura 6) mostra que para um determinado valor de semieixo maior existe um período de translação correspondente. Qual o período de translação de Mercúrio em anos terrestres?

R: _____

2. Ajuste o valor da excentricidade da órbita para $e = 0.6$. O que acontece com o período do planeta?

R: _____

3. Altere o valor do semieixo maior para 1 AU. O que acontece com o período?

R: _____

4. Altere o planeta para Marte. Qual o valor do semieixo maior ao cubo? Qual o valor do período orbital ao quadrado?

R: _____

ATIVIDADE 4 – SUGESTÃO DE GABARITO

1. Clique em $\varnothing$ para reiniciar a simulação. Selecione o planeta *Mercúrio* no menu Planetas. Clique na aba 3ª Lei de Kepler. O gráfico exibido (Figura 6) mostra que para um determinado valor de semieixo maior existe um período de translação correspondente. Qual o período de translação de Mercúrio em anos terrestres?

Seguindo as instruções, selecionando Mercúrio no menu Planetas e acessando aba 3ª Lei de Kepler.

De acordo com os parâmetros físicos, o semieixo maior de Mercúrio é de aproximadamente 0,400 AU.

Movendo o cursor para esse ponto no gráfico, podemos observar que o período de translação de Mercúrio é de aproximadamente 0,25 anos terrestres.

2. Ajuste o valor da excentricidade da órbita para $e = 0.6$. O que acontece com o período do planeta?

Ao ajustar o valor da excentricidade da órbita para $e = 0.6$, o período do planeta permanecerá o mesmo. A terceira lei de Kepler afirma que o período orbital de um planeta não depende da excentricidade de sua órbita, apenas do semieixo maior.

3. Altere o valor do semieixo maior para 1 AU. O que acontece com o período?

Alterando o semieixo maior para 1 UA, o período de translação aumenta significativamente. No simulador, o novo período se aproxima de 1 ano terrestre.

A Terceira Lei de Kepler estabelece uma relação proporcional entre o cubo do semieixo maior e o quadrado do período orbital. Aumentando o semieixo maior para 1 UA, o cubo do semieixo maior aumenta consideravelmente, levando a um aumento significativo no quadrado do período orbital e, conseqüentemente, no período de translação.

4. Altere o planeta para Marte. Qual o valor do semieixo maior ao cubo? Qual o valor do período orbital ao quadrado?

Semi – eixo maior ao cubo = $(1,52)^3$

Período orbital ao quadrado = $(1,87)^2$

PLANO DE AULA (AULA 5)

Plano de aula: Data:
Dados de Identificação: Escola: Professor: Disciplina: Física Série/Turma: Trimestre:
Tema: Astronomia Leis de Kepler
Objetivo: Compreender as leis de Kepler e suas aplicações na astronomia. Analisar e interpretar dados e informações relacionadas ao movimento planetário.
Desenvolvimento do Tema: Discussão sobre os temas abordados até o momento.
Recursos: Livros texto, projetor multimídia, vídeos e imagens, simulações com o software.
Cronograma: Aula de 45 minutos: Aula interativa - Discussão das aplicações das Leis de Kepler Aplicação do pós- questionário Entrega do formulário para obter um feedback - Devolução, próxima aula.

Nome: _____ N.º: _____

Série: _____ Turma: _____ Turno: _____ Data: ____/____/____

Professor(a): _____ Valor: _____ Nota: _____

Pós – questionário

1) Qual das seguintes leis de Kepler afirma que os planetas descrevem órbitas elípticas ao redor do Sol?

- a) Primeira lei de Kepler
- b) Segunda lei de Kepler
- c) Terceira lei de Kepler
- d) Nenhuma das anteriores

2) A terceira lei de Kepler relaciona:

- a) A distância de um planeta ao Sol com sua velocidade orbital.
- b) O período orbital de um planeta com sua massa.
- c) A massa de um planeta com sua distância ao Sol.
- d) O raio de um planeta com seu diâmetro.

3) A elipse é uma forma de órbita planetária descrita pela primeira lei de Kepler. Qual é a forma da órbita se a excentricidade for igual a 0?

- a) Elipse
- b) Círculo
- c) Parábola
- d) Hipérbole

4) A segunda lei de Kepler é conhecida como a lei das áreas. O que ela afirma?

- a) A linha que liga um planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.
- b) A velocidade de um planeta é inversamente proporcional à raiz quadrada de sua distância ao Sol.
- c) O período orbital de um planeta é diretamente proporcional ao cubo de sua distância ao Sol.
- d) O raio de uma órbita planetária é proporcional ao quadrado do período orbital.

5) Qual é o movimento que a Lua realiza em torno da Terra?

- a) Rotação
- b) Translação
- c) Oscilação
- d) Reflexão

6) O que causa o fenômeno das marés?

- a) A influência gravitacional do Sol sobre a Terra.
- b) A rotação da Terra em torno de seu próprio eixo.
- c) A atração gravitacional da Lua e do Sol sobre as massas de água da Terra.
- d) A atividade vulcânica nos oceanos.

7) O que é um eclipse solar total?

- a) Quando a Lua está alinhada entre o Sol e a Terra, bloqueando completamente a luz solar.
- b) Quando a Terra está alinhada entre a Lua e o Sol, bloqueando completamente a luz solar.
- c) Quando a Lua está alinhada entre o Sol e a Terra, mas não bloqueia completamente a luz solar.
- d) Quando a Lua fica completamente iluminada pelo Sol.

8) O que ocorre quando a Terra está em seu ponto de afélio?

- a) Ela está mais próxima do Sol.
- b) Ela está mais distante do Sol.
- c) A duração dos dias e noites é igual.
- d) O eixo de rotação está inclinado em relação ao Sol.

9) O que causa a variação na distância entre a Terra e o Sol ao longo de sua órbita?

- a) A influência gravitacional da Lua.
- b) A atividade solar.
- c) A inclinação do eixo de rotação da Terra.
- d) A forma elíptica da órbita terrestre.

SUGESTÃO DE GABARITO DAS ATIVIDADES**PÓS QUESTIONÁRIO**

01 - A
02 - A
03 - B
04 - A
05 - B
06 - C
07 - A
08 - B
09 - D

5 BIBLIOGRAFIA

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências:** fundamentos e métodos. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2002.