

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO NORTE
DIRETORIA ACADÊMICA DE CIÊNCIAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 10**

Cícero Elias dos Santos Júnior

**Elaboração e utilização de um livro digital para abordagem do tema satélites no ensino
médio**

Natal-RN

2023

Cícero Elias dos Santos Júnior

Elaboração e utilização de um livro digital para abordagem do tema satélites no ensino médio

Dissertação apresentada ao Polo 10 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Dr. Tibério Magno de Lima Alves
Coorientador: Dr. Jacques Cousteau da S. Borges

NATAL

2023

S237e	Santos Júnior, Cícero Elias dos. Elaboração e utilização de um livro digital para abordagem do tema satélites no ensino médio / Cícero Elias dos Santos Júnior. – 2023. 98 f. : il. color. Dissertação (mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2023. Orientador: Dr. Tibério Magno de Lima Alves. Coorientador: Dr. Jacques Cousteau da Silva Borges. 1. Satélites – Ensino de médio – Física. 2. Teoria da aprendizagem de Gagné. 3. Lei de Kleber. 4. Sequência didática. I. Título. CDU: 53:52-87
-------	---

Cícero Elias dos Santos Júnior

Elaboração e utilização de um livro digital para abordagem do tema satélites no ensino médio

Dissertação apresentada ao Polo 10 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Aprovada em 16 de fevereiro de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Dr. Tibério Magno de Lima Alves - Orientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Dr. Bruno Lustosa de Moura – Examinador 1
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Dr. Alexsandro Pereira Lima – Examinador 2
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria Sueli de Souza Santos e Cícero Elias dos Santos, minha maior fonte de amor, incentivo e apoio.

Agradeço as minhas irmãs, Katia Sueli de Souza Santos e Francisca Katiana dos Santos, por todo apoio.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Tibério Magno de Lima Alves e ao meu coorientador Prof. Dr. Jacques Cousteau da S. Borges pelos ensinamentos, encaminhamentos e dedicação durante todo desenvolvimento desse trabalho.

Aos professores participantes da banca examinadora Dr. Bruno Lustosa de Moura e Dr. Alessandro Pereira Lima pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos professores do programa por todos os ensinamentos que me permitiram evoluir na exercícios da minha profissão.

Agradeço a todos os colegas do IFRN – Campus Caicó pela cooperação no desenvolvimento desse trabalho, especialmente a professora Dra. Maria José de Oliveira pela revisão gramatical no texto do livro.

Aos meus alunos da turma Técnico Integrado em Informática para Internet 2019.1, do IFRN – campus Caicó, pelo comprometimento na realização das atividades propostas durante o desenvolvimento dessa pesquisa.

A todos os meus alunos e ex-alunos que constantemente contribuem para a minha evolução como professor.

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

RESUMO

Os saberes a respeito do movimento orbital dos satélites são recorrentemente ministrados no ensino médio, mas a maioria dos materiais didáticos direcionados para esse público se limitam a abordar o tema sob a ótica do movimento dos planetas no contexto das Leis de Kepler. Visando contribuir com o progresso do ensino de física, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um produto educacional para abordagem do tema satélites, composto por um livro e uma sequência didática. A orientação teórica para o seu desenvolvimento foi proveniente da Teoria da Aprendizagem de Gagné, o qual forneceu subsídios para estruturação do texto e das ações de implementação do livro na sala de aula. O procedimento utilizado para avaliação do material desenvolvido foi a análise da sua implementação em uma turma, de 32 estudantes, do curso técnico integrado de Informática para Internet do IFRN campus Caicó, com abordagem de sala de aula invertida. Os resultados obtidos indicaram sinais de aprendizagem de conhecimentos factuais, conceituais, procedimentais e metacognitivos, sinalizando que o produto educacional desenvolvido tem o potencial pedagógico necessário para ser utilizado como ferramenta no processo de ensino-aprendizagem de uma unidade de ensino sobre o tema satélites.

Palavras-chave: Ensino de Física; Satélites; Teoria da Aprendizagem de Gagné.

ABSTRACT

Knowledge about the orbital motion of satellites is recurrently taught in high school, but most teaching materials aimed at this audience are limited to addressing the topic from the perspective of the movement of planets in the context of Kepler's Laws. Aiming to contribute to the progress of physics teaching, the objective of this work was to develop an educational product to approach the topic of satellites, composed of a book and a didactic sequence. The theoretical orientation for its development came from Gagné's Learning Theory, which provided subsidies for structuring the text and for implementing the book in the classroom. The procedure used to evaluate the developed material was the analysis of its implementation in a class of 32 students, of the integrated technical course of Internet Informatics at the IFRN campus Caicó, with an inverted classroom approach. The results obtained indicated signs of learning of factual, conceptual, procedural and metacognitive knowledge, indicating that the educational product developed has the necessary pedagogical potential to be used as a tool in the teaching-learning process of a teaching unit on the subject of satellites.

Keywords: teaching physics; satellites; Gagné learning theory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Johannes Kepler.....	16
Figura 2 - Tycho Brahe.....	17
Figura 3 - Uma elipse é um tipo de seção cônica.	18
Figura 4 - Representação em escala das órbitas descritas pela Terra e pelo cometa Encke.....	19
Figura 5 - Segunda lei de Kepler (lei das áreas).....	20
Figura 6 - Partícula movendo-se sob ação de uma força central.	21
Figura 7 - No intervalo de tempo dt o raio vetor r varre uma área dA	22
Figura 8 - Mudanças na órbita de um satélite como consequência de uma propulsão tangencial no perigeu.....	26
Figura 9 - Modelo básico de processamento de informação	28
Figura 10 - IFRN - Campus Caicó.....	40
Figura 11 - Mapa mental elaborado pelo estudante 1.....	47
Figura 12 - Desempenho da estudante 22.....	50
Figura 13 - Mapa mental elaborado pela estudante 14.....	53
Figura 14 - Elipse com o foco na origem do sistema coordenadas polares plana.	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Excentricidade dos planetas do Sistema Solar	19
Quadro 2 - Relação entre energia, excentricidade e órbita.....	25
Quadro 3 - Processos de aprendizagem	29
Quadro 4 - Etapas instrucionais.....	30
Quadro 5 - Delineamento do capítulo 2. Sistemas geocêntrico e heliocêntrico	33
Quadro 6 - Delineamento do capítulo 3. Leis de Kepler	34
Quadro 7 - Delineamento do capítulo 4. Satélites naturais	34
Quadro 8 - Delineamento do capítulo 5. Lei da gravitação de Newton	35
Quadro 9 - Delineamento do capítulo 6. Movimento dos satélites	36
Quadro 10 - Delineamento do capítulo 7. Corrida espacial	37
Quadro 11 - Delineamento do capítulo 8. Satélites e suas aplicações.....	38
Quadro 12 - Categorias e subcategorias da Dimensão Conhecimento da TBR	43
Quadro 13 - Categorias e subcategorias da Dimensão do Processo Cognitivo	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quantitativo de estudantes que alcançaram os objetivos de aprendizagem da primeira aula	48
Gráfico 2 - Quantitativo de estudantes que alcançaram os objetivos de aprendizagem da segunda aula.....	51
Gráfico 3 - Quantitativo de estudantes que alcançaram os objetivos de aprendizagem da terceira aula.....	54
Gráfico 4 - Quantitativo de estudantes que alcançaram os objetivos de aprendizagem da quarta aula.....	55
Gráfico 5 - Quantitativo de estudantes que alcançaram os objetivos de aprendizagem da quinta aula.....	57
Gráfico 6 - Quantitativo de estudantes que alcançaram os objetivos de aprendizagem da sexta aula.....	59

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	15
2 REVISÃO DE FÍSICA.....	16
2.1 PRIMEIRA LEI DE KEPLER	18
2.2 SEGUNDA LEI DE KEPLER	20
2.2.1 Dedução da Segunda Lei de Kepler	21
2.3 TERCEIRA LEI DE KEPLER.....	23
2.3.1 Dedução da Terceira Lei de Kepler.....	23
2.4 RELAÇÃO ENTRE ENERGIA E EXCENTRICIDADE.....	24
2.5 MUDANÇAS DE ÓRBITAS	25
3 A TEORIA DA APRENDIZAGEM DE GAGNÉ.....	27
3.1 A APRENDIZAGEM NA PERSPECTIVA DE GAGNÉ	27
3.2 ETAPAS INSTRUCCIONAIS.....	30
4 DESCRIÇÃO DO PRODUTO	32
4.1 SATÉLITES: O QUE SÃO, COMO SE MOVIMENTAM E QUAIS SUAS FINALIDADES.....	32
4.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	38
5 METODOLOGIA	40
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE PESQUISA	40
5.2 APLICAÇÃO DO PRODUTO	41
5.3 MÉTODO DE ANÁLISE	42
5.3.1 Taxonomia de Bloom Revisada.....	42
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
6.1 RESULTADOS DE CADA AULA	46
6.1.1 Aula 1	46
6.1.2 Aula 2	48
6.1.3 Aula 3	52
6.1.4 Aula 4	55
6.1.5 Aula 5	56
6.1.6 Aula 6	58
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
REFERÊNCIAS	64

APÊNDICE A – DEDUÇÃO DA PRIMEIRA LEI DE KEPLER	67
APÊNDICE B – DEMONSTRAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE ENERGIA MECÂNICA DO SATÉLITE E EXCENTRICIDADE DA ÓRBITA	72
APÊNDICE C –PRODUTO EDUCACIONAL (SEQUÊNCIA DIDÁTICA).....	73

1 APRESENTAÇÃO

Este trabalho de dissertação é a síntese da elaboração de um produto educacional e a implementação desse na sala de aula, desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). Tal produto é composto por um livro digital – estruturado pelo tema satélites – e por uma sequência didática planejada para fins de implementação do referido livro na sala de aula.

A escolha por elaborar um produto no formato de livro se deve a própria vivência no ensino de física do autor, a qual já havia revelado que alguns textos (para)didáticos que apresentam a física de forma mais contextualizada, como o Física Conceitual, de Paul G. Hewitt, são bem aceitos pelos estudantes e rendem frutos positivos no processo de ensino-aprendizagem.

O livro, intitulado “Satélites: o que são? como se movimentam? quais suas finalidades?”, em termos de conteúdo de física aborda, até certo ponto, o mesmo conteúdo que seria discutido em um curso sobre as leis de Kepler. Talvez, em outro contexto, se tivéssemos elaborado um texto didático estruturado por esse mesmo conteúdo, o título faria referência direta as leis de Kepler. No entanto, devido a motivação para elaboração desse produto e, conseqüentemente, as características que ele adquiriu, ponderamos a necessidade de enfatizar o termo “satélites” no título. Motivação essa que surge diante da nossa intenção de proporcionar um itinerário formativo no qual o tema satélites – na extensão do termo – é abordado com o objetivo de propiciar elementos para aprendizagem dos princípios que regem o movimento dos corpos celestes e para formação crítica dos estudantes.

Dito isso, é importante salientarmos que existem duas classificações para os satélites: artificiais e naturais. Os satélites artificiais são aqueles que foram criados pelos seres humanos e lançados ao espaço. Eles surgiram durante a Guerra Fria quando a então União Soviética lançou ao espaço o primeiro corpo celeste criado por seres humanos. Os demais satélites, que não são artificiais, são chamados de satélites naturais ou de luas - quando orbitando planetas. A Lua, talvez seja o exemplo mais claro para um satélite, mas o próprio planeta Terra é um satélite do Sol. Outros planetas também possuem satélites naturais e artificiais, assim como a Terra. Podemos então definir satélites como sendo um corpo celeste que orbita em torno de outro de maior massa devido à ação da gravidade.

As leis de Kepler estabelecem os princípios que regem o movimento orbital dos satélites, independentemente de serem satélites naturais ou artificiais. Por esse motivo, esses conhecimentos são de enorme relevância para o desenvolvimento deste trabalho. Entretanto, os

satélites artificiais apresentam algumas possibilidades de movimento durante as mudanças de órbitas que são particulares dessa classe de satélites, não sendo previstos pelas leis de Kepler. Dessa forma, além das leis de Kepler, nos dedicamos também a explorar os conceitos inerentes ao lançamento de projéteis (satélites) e de manobras para mudanças de órbitas. Nesse sentido, exploramos sistematicamente a relação entre a forma da órbita e a energia mecânica no movimento orbital a fim de propiciar uma aprendizagem significativa sobre esses conceitos.

O estudo sobre os satélites artificiais, além de possibilitar a exploração de princípios físicos que não seriam possíveis estudando somente os movimentos dos planetas, favorecem o diálogo com a alfabetização científica, uma vez que o conhecimento sobre o surgimento dos satélites artificiais e o conhecimento de tal tecnologia e a sua influência em aspectos sociais, auxilia o estudante a desenvolver habilidades e valores para atuar na tomada de decisões responsáveis sobre questões que envolvam satélites, tanto em aspectos de ciência e tecnologia, quanto no tocante a sociedade e meio ambiente.

A implementação do referido livro como texto de apoio ao processo de ensino-aprendizagem no contexto de uma sala de aula regular foi planejada através de uma Sequência Didática cuja estruturação das etapas (ações pedagógicas) vêm da Teoria da Aprendizagem de Gagné.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho de dissertação é a elaboração de um produto educacional com potencialidade para ser utilizado como material de apoio de uma unidade de ensino sobre o tema satélites.

Os objetivos específicos são:

- a) estabelecer referenciais teóricos que possam contribuir para o planejamento estrutural do texto e das ações de implementação do livro na sala de aula de forma a favorecer a ocorrência da aprendizagem;
- b) criar um livro digital estruturado pelo tema “satélites”;
- c) elaborar uma Sequência Didática como sugestão de implementação do livro na sala de aula;
- d) aplicar o produto e avaliar o desempenho dos estudantes frente aos procedimentos metodológicos adotados.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é dividida em sete capítulos, contando com este capítulo de apresentação. Neste primeiro capítulo, apresentamos ao leitor o tema do trabalho, assim como a motivação para o seu desenvolvimento e algumas das características adquiridas pelo produto desenvolvido.

No capítulo 2 apresentamos uma revisão de física estudando o problema de uma partícula movendo-se sob ação de uma força central. Demonstramos, a partir do referido problema, as três leis de Kepler, assim como outras conclusões que também são válidas para o movimento dos satélites.

No capítulo 3 desenvolvemos o referencial teórico desse trabalho. Apresentamos a Teoria da Aprendizagem de Gagné, a qual fornece subsídios para construção textual do livro e para o processo de aplicação do produto na sala de aula. Considerou-se uma estrutura de seis etapas instrucionais como estratégia para propiciar o desencadeamento dos processos cognitivos que acompanham um ato de aprendizagem.

No capítulo 4 é dedicado a caracterizamos o produto educacional produzido, tanto o livro digital como a Sequência Didática. A estrutura do livro é explorada através dos temas abordados em cada capítulo, assim como o delineamento no texto do livro das etapas instrucionais, que também são suportes para elaboração da Sequência Didática.

No capítulo 5 estabelecemos a metodologia de aplicação do produto, caracterizando o ambiente e os procedimentos adotados na aplicação.

No capítulo 6 são apresentados e discutidos os resultados obtidos através da aplicação do produto. De uma forma geral, avalia-se que o livro produzido foi bem recebido pelos alunos. Além disso, os sinais da aprendizagem observados na aplicação sugerem que o material é potencialmente significativo, quando trabalhado de acordo com a sequência das etapas planejadas.

Por fim, o último capítulo é dedicado as considerações finais do trabalho.

2 REVISÃO DE FÍSICA

Kepler (Figura 1), um alemão que viveu entre os anos 1571 e 1630, passou grande parte da sua vida tentando compreender a matemática que regia o movimento dos corpos celestes. Ele imaginou um modelo cosmológico no qual o Sol ocuparia o centro do Universo enquanto as esferas sobre as quais os planetas moviam-se seriam apoiadas pelos cinco sólidos perfeitos de Pitágoras (cubo, tetraedro, dodecaedro, icosaedro e octaedro), sendo esse o motivo para existirem seis, apenas seis, planetas (na época, essa era a quantidade de planetas conhecidos). Entretanto, por mais que tentasse obter uma concordância satisfatória entre o seu modelo e os dados observacionais do movimento orbital dos planetas, não conseguiu tal feito. Após muitos anos de trabalho, ele julgou que os dados observacionais há muito aceito é que estavam imprecisos e não seu modelo (COSMOS:..., 1980).

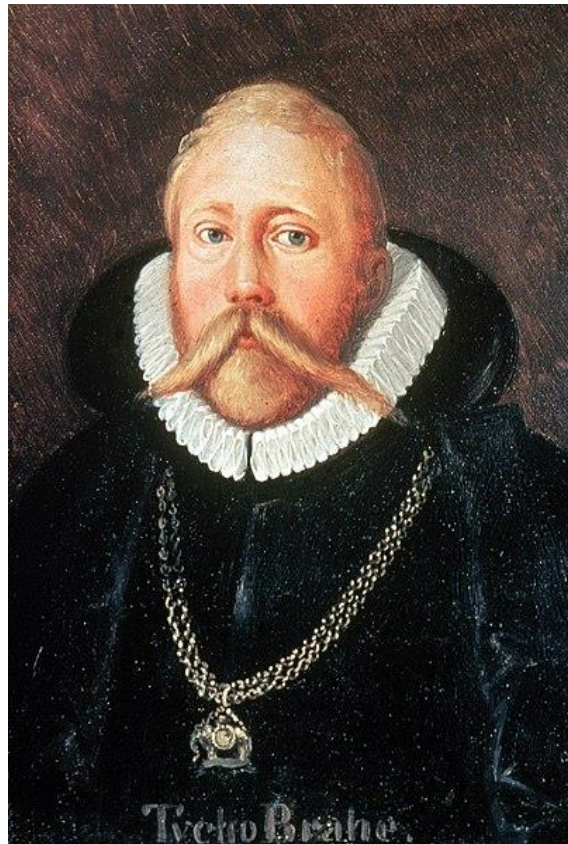
Figura 1 - Johannes Kepler



Fonte: Wikipédia (2023)

Contemporâneo de Kepler, o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (Figura 2) foi um dos mais importantes de sua época. Ele desenvolveu instrumentos para observações astronômicas que possibilitou a construção de um catálogo de dados sobre o movimento dos corpos celestes com precisão nunca visto até então.

Figura 2 - Tycho Brahe



Fonte: Wikipédia (2023)

Kepler, em posse dos registros observacionais de Tycho, tentou por incansáveis vezes descrever a trajetória de Marte através de circunferências. Tentativas frustradas. Na verdade, Kepler chegou a deduzir um modelo que concordava com grande parte dos dados observacionais, porém existia uma pequena parcela que não se enquadrava em seu modelo. Se, nesse momento, ele tivesse atribuído a não concordância entre o modelo por ele projetado e os dados coletados por Tycho a erros nas medidas, provavelmente ele não teria encontrado a forma correta da órbita planetária. No entanto, por acreditar nos dados das observações, a saída foi abandonar as órbitas circulares em busca de descrever o movimento planetário através de outras formas geométricas (COSMOS:..., 1980).

Finalmente, após os astrônomos perseguirem por séculos um modelo cosmológico que descrevesse perfeitamente os movimentos planetários através de círculos, Kepler encontra a verdadeira trajetória do movimento planetário: uma elipse com o Sol posicionado em um dos focos. Testando a compatibilidade entre os dados do movimento de Marte e a órbita elíptica, o astrônomo verifica que eles concordam perfeitamente.

Kepler formulou as três leis do movimento planetário - conhecidas atualmente como Leis de Kepler - através dos dados observacionais coletados por Tycho. Os princípios que as caracterizam são igualmente válidos para o movimento de qualquer sistema modulado pelo problema de um corpo movendo-se sob ação de uma força central, ou seja, para o movimento de qualquer satélite, seja ele um planeta, uma lua ou até mesmo um satélite artificial.

As mesmas leis de Kepler podem ser deduzidas a partir da mecânica newtoniana. É através desse caminho que iremos deduzir e discutir tais leis.

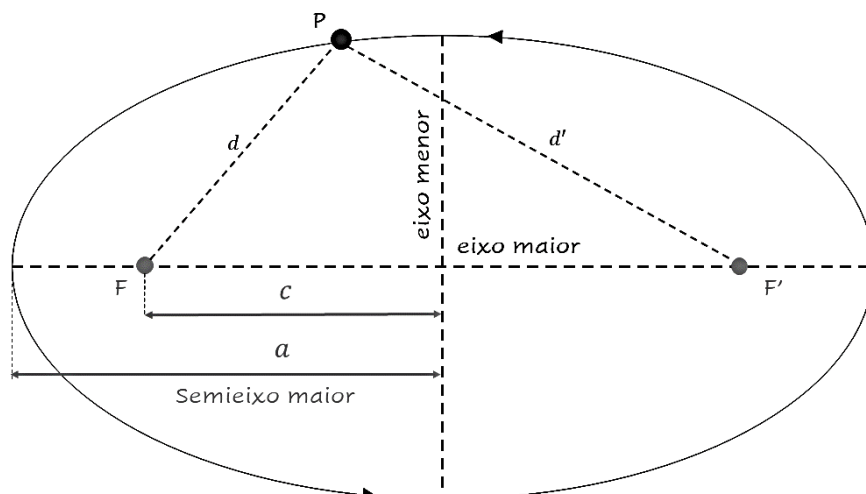
Nesta seção, discutiremos o problema referente ao movimento de um sistema formado por dois corpos isolados afetados pela ação de uma força central – isto é, uma força que atua ao longo da linha que conecta os dois corpos. Apesar do movimento dos corpos celestes estarem sujeitos a interações gravitacionais com vários corpos, esse problema apresenta uma boa aproximação do real movimento dos satélites. Nessa perspectiva, a partir da formulação desse problema, demonstraremos as três leis de Kepler e algumas considerações a respeito da energia do sistema e da mudança de órbita de um satélite artificial.

2.1 PRIMEIRA LEI DE KEPLER

De acordo com Nussenzveig (2002, p. 194), a primeira lei de Kepler pode ser enunciada como: “as órbitas descritas pelos planetas em redor do Sol são elipses, com o Sol num dos focos”.

A elipse é uma curva fechada formada pelo conjunto de pontos P cuja soma das distâncias à F e F' , denominados de focos, é uma constante ($d+d'=constante$).

Figura 3 - Uma elipse é um tipo de seção cônica.



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

A excentricidade é o elemento que determina o quão achatada é uma elipse. Quanto maior a excentricidade, mais achatada ela será. Define-se excentricidade e como sendo a razão entre a semi-distância focal c e o comprimento do semieixo maior a .

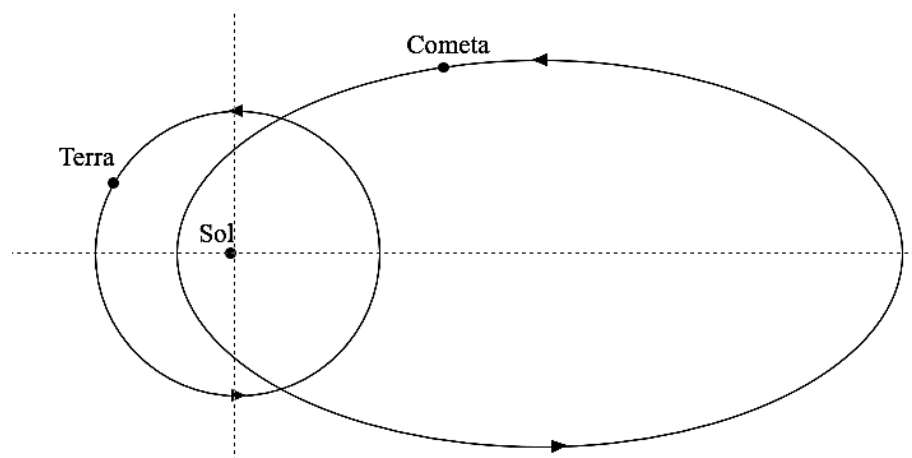
Os planetas do sistema solar possuem órbitas de pequena excentricidade, conforme os dados apresentados no quadro 1. Dessa forma, a trajetória descrita por eles se assemelha muito a uma circunferência. Entretanto, há muitos corpos celestes cujas órbitas são muito excêntricas, como é o caso do cometa Halley que possui uma excentricidade de 0,967. Na figura 4, ilustramos a órbita descrita pelo planeta Terra e pelo cometa Encke (cujas excentricidade é 0,847).

Quadro 1 - Excentricidade dos planetas do Sistema Solar

Planeta	Excentricidade
Mercúrio	0,206
Vênus	0,007
Terra	0,017
Marte	0,094
Júpiter	0,049
Saturno	0,052
Urano	0,047
Netuno	0,010

Fonte: Williams (2023)

Figura 4 - Representação em escala das órbitas descritas pela Terra e pelo cometa Encke



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

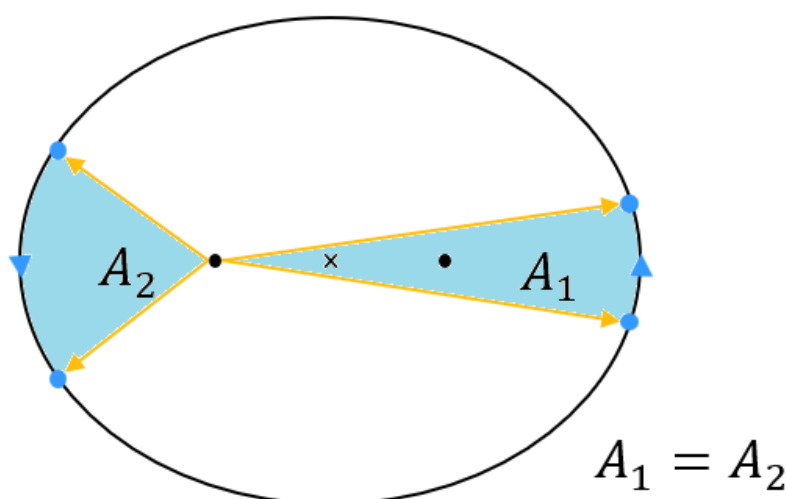
Assim sendo, nem toda elipse é muito achatada. As trajetórias descritas pelos planetas, por exemplo, se aproximam muito de uma circunferência. Portanto, ao abordar tal tema para estudantes do ensino médio, se faz necessário explorar os mais variados formatos de trajetórias que podem existir para os satélites. Essa ação visa evitar uma aprendizagem equivocada de que as trajetórias dos satélites são sempre elipses muito achatadas.

A dedução para primeira lei de Kepler é apresentada no Apêndice A.

2.2 SEGUNDA LEI DE KEPLER

“A linha que liga o Sol a um planeta varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais” (YOUNG, 2015, p. 16). A figura 5 ilustra o fenômeno enunciado pela segunda lei de Kepler.

Figura 5 - Segunda lei de Kepler (lei das áreas)



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

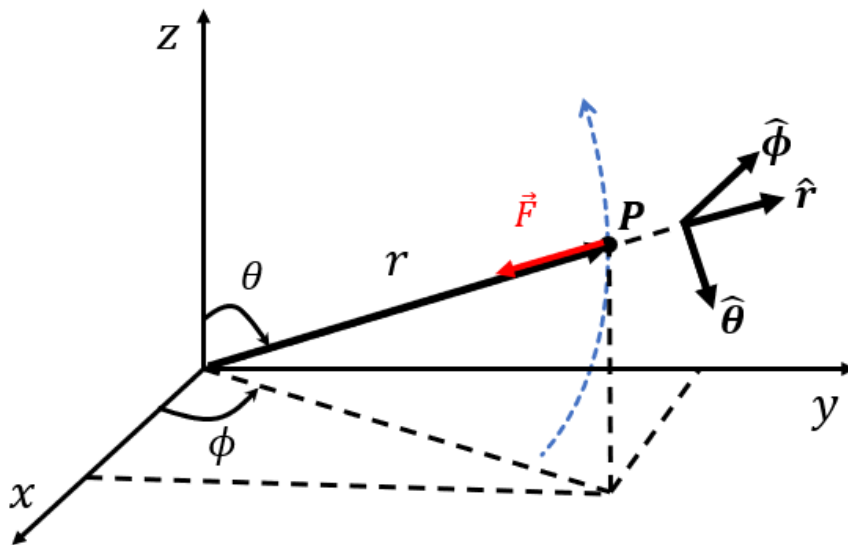
De acordo com a segunda lei de Kepler, para um determinado intervalo de tempo Δt , um planeta percorre uma fração maior da sua órbita quando está próxima do periélio (posição mais próxima do Sol) do que no afélio (posição mais afastada do Sol). Ou seja, a velocidade de um planeta não é uniforme ao longo de sua trajetória. Ela é proporcional a distância do planeta ao Sol.

2.2.1 Dedução da Segunda Lei de Kepler

Quando uma partícula se move sob ação de uma força central (no caso dos corpos celestes, esta força central é a força gravitacional), essa não é capaz de gerar torque, uma vez que sua linha de ação se sobrepõe a direção do vetor posição (figura 6).

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{0} \quad .(1)$$

Figura 6 - Partícula movendo-se sob ação de uma força central.



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Da conclusão de que a força gravitacional não gera torque, podemos inferir que o vetor momento angular é constante ($\vec{L} = \text{constante}$). Ou seja, o momento angular do sistema é conservado. Uma vez que:

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{0} \quad .(2)$$

A invariância do momento angular $\vec{L}$ exibe duas características importantes desse movimento. A primeira, é que esse movimento ocorre inteiramente num plano. Tal conclusão é valiosa para o estudo do movimento orbital dos satélites, principalmente quando se objetiva falar sobre os satélites artificiais e as características de suas órbitas. Portanto, é necessário que o professor não omita esse princípio durante suas aulas. A segunda, é o equivalente a segunda lei de Kepler.

Considerando que o movimento ocorre inteiramente num plano, é conveniente que as equações do movimento sejam expressas em coordenadas polares planas (fazendo $\theta = 90^\circ$ na figura 6). Nesse caminho, estamos interessados em apresentar o momento angular $\vec{L}$ (=

$\vec{r} \times m\vec{v}$) em termos que manifestem essa formalização. Para tal, consideremos o vetor posição $\vec{r}$ e o vetor velocidade $\vec{v}$ em coordenadas polares planas:

$$\vec{r} = r \hat{r}, \quad (3)$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dr}{dt} \hat{r} + r \frac{d\phi}{dt} \hat{\phi}. \quad (4)$$

Assim, o momento angular $\vec{L}$ se apresenta como:

$$\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v} = m \left[r \hat{r} \times \left(\frac{dr}{dt} \hat{r} + r \frac{d\phi}{dt} \hat{\phi} \right) \right] \quad (5)$$

$$\vec{L} = m \left(r \frac{dr}{dt} \hat{r} \times \hat{r} + r^2 \frac{d\phi}{dt} \hat{r} \times \hat{\phi} \right) \quad (6)$$

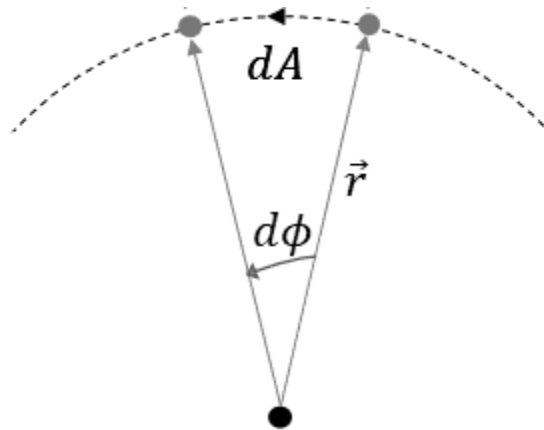
$$\vec{L} = mr^2 \frac{d\phi}{dt} (\hat{k}) \quad (7)$$

A Eq. 7 exprime a formalização desejada para o momento angular, sendo $\vec{L}$ perpendicular ao plano do movimento xy . Em módulo, o momento angular se apresenta como:

$$L = mr^2 \frac{d\phi}{dt} \quad (8)$$

Agora estamos interessados na segunda característica que resulta da invariância do momento angular. Na figura 7, vemos que o raio vetor $\vec{r}$ varre uma área equivalente a $\frac{1}{2} r^2 d\phi$ em um intervalo de tempo dt :

Figura 7 - No intervalo de tempo dt o raio vetor $\vec{r}$ varre uma área dA



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

$$dA = \frac{1}{2} r^2 d\phi \quad (9)$$

A taxa de variação instantânea da Eq. 9 é:

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \frac{d\phi}{dt} \quad .(10)$$

Considerando a relação apresentada na Eq. 8, podemos reescrever a Eq. 10 como:

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} \frac{L}{m} \quad .(11)$$

Como todos os elementos do lado direito da Eq. 11 são constantes, isso sugere que o raio vetor varre a área a uma taxa constante.

$$\frac{dA}{dt} = \text{constante} \quad .(12)$$

Esse fato concorda com a segunda lei de Kepler (lei das áreas).

De acordo com Halliday et al. (2016, p. 114) “a afirmação de Kepler de que dA/dt é constante equivale a dizer que L é constante, ou seja, que o momento angular é conservado. A segunda lei de Kepler é, portanto, equivalente à lei de conservação do momento angular.”

2.3 TERCEIRA LEI DE KEPLER

A terceira lei de Kepler afirma que: O quadrado do período de qualquer planeta é proporcional ao cubo do semieixo maior de sua órbita ($T \propto a^{3/2}$) (FEYNMAN, 2008).

Assim, uma implicação direta do princípio estabelecido pela terceira lei de Kepler está associado ao período de translação de um planeta (ou de um satélite). Quanto maior o semieixo maior da elipse descrita pelo planeta, maior é o período de translação.

Além disso, de acordo com a terceira lei, se T_1 e T_2 são períodos de revolução de dois planetas cujo semieixos de suas trajetórias são a_1 e a_2 , respectivamente, a terceira lei afirma que:

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3 \quad .(13)$$

2.3.1 Dedução da Terceira Lei de Kepler

Para deduzir a terceira lei de Kepler, consideremos uma órbita circular de raio r . Ao aplicar a segunda lei de Newton ao planeta, de massa m , em movimento, obtemos:

$$F_R = m \omega^2 r \quad .(14)$$

Como a única força atuando sobre o planeta é a força gravitacional exercida pelo Sol, substituindo a força resultante pela força gravitacional e a velocidade angular ω por $2\pi/T$, onde T é o período do movimento orbital, obtemos:

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{m4\pi^2 r}{T^2} \quad .(15)$$

Onde G é a constante gravitacional e M é a massa do corpo central fonte da força gravitacional que atua sobre o planeta. Reorganizando os membros da equação. Podemos reescrever a Eq. 15 como:

$$\frac{T^2}{r^3} = \left(\frac{4\pi^2}{GM} \right) \quad .(16)$$

Apesar dessa relação ter sido obtida para o movimento corpo em órbita circular, ela é igualmente válida para uma trajetória elíptica. Para tal, basta substituir r pelo semieixo maior a da elipse.

$$\frac{T^2}{a^3} = \left(\frac{4\pi^2}{GM} \right) \quad .(17)$$

Como todos os elementos do lado direito da Eq. 17 são constantes, conclui-se que a razão entre o quadro do período e o cubo do semieixo maior também é. Esse é o princípio estabelecido pela terceira lei de Kepler.

2.4 RELAÇÃO ENTRE ENERGIA E EXCENTRICIDADE

Através das equações de Newton, verificamos a validade da primeira lei de Kepler (dedução no Apêndice A): os planetas se movem em torno do Sol descrevendo trajetórias elípticas com o Sol posicionado em um dos focos da elipse. No entanto, as equações de Newton não limitam o movimento dos corpos celestes a trajetórias elípticas. Na verdade, elas podem ser, além de elipses, parábolas, hipérbolas e até mesmo uma perfeita circunferência (um caso especial das curvas elípticas).

Afinal, o que determina a forma precisa da trajetória dos corpos celestes? O segredo está na energia do sistema.

Podemos escrever a energia mecânica de um planeta que se move sob ação da força gravitacional como:

$$E = K + U \quad .(18)$$

Consideremos o que ocorre com a energia ao longo da trajetória elíptica: quando o planeta se aproxima do Sol, a energia potencial gravitacional se torna pequena, ao passo que a energia cinética cresce. Quando o planeta está distante do Sol, a energia potencial gravitacional

se torna grande, enquanto a energia cinética assume valores cada vez menores. Ao longo da elipse, as energias cinética e potencial se mantêm em uma constante troca, enquanto uma aumenta a outra diminui. Contudo, a energia mecânica do sistema permanece constante.

Como dito anteriormente, a energia é o segredo para forma da órbita. É ela quem determina a excentricidade ϵ e consequentemente a forma da trajetória. A Eq. 19 apresenta a relação entre energia mecânica e excentricidade da trajetória descrita por um planeta. Todos os elementos que estão fora do parêntese do lado direito da Eq. 19 são constantes. A dedução para a Eq. 19 é apresentada no Apêndice B.

$$E = \frac{\gamma^2 m}{2L^2} (\epsilon^2 - 1) \quad .(19)$$

Embora a Eq. 19 tenha sido obtida a partir da descrição da energia para um planeta que descreve uma trajetória elíptica, ela é igualmente válida para qualquer corpo celeste - para trajetórias limitadas ou ilimitadas. O quadro 1 apresenta a relação entre energia, excentricidade e curva cônica.

Quadro 2 - Relação entre energia, excentricidade e órbita

Energia	Excentricidade	Órbita
$E < 0$	$\epsilon = 0$	círculo
$E < 0$	$0 < \epsilon < 1$	elipse
$E = 0$	$\epsilon = 0$	parábola
$E > 0$	$\epsilon > 1$	hipérbole

Fonte: Taylor (2013, p. 315).

A forma da órbita que um corpo celeste descreve é dependente da energia mecânica do sistema. Para um dado momento angular, a energia determina a excentricidade, que por sua vez determina a forma da órbita. Para órbitas fechadas (elipse ou círculo), $0 \leq \epsilon < 1$, a energia do corpo celeste é negativa. Ou seja, a energia cinética positiva do corpo não é capaz de superar a energia potencial gravitacional negativa, permanecendo assim preso a uma trajetória fechada.

2.5 MUDANÇAS DE ÓRBITAS

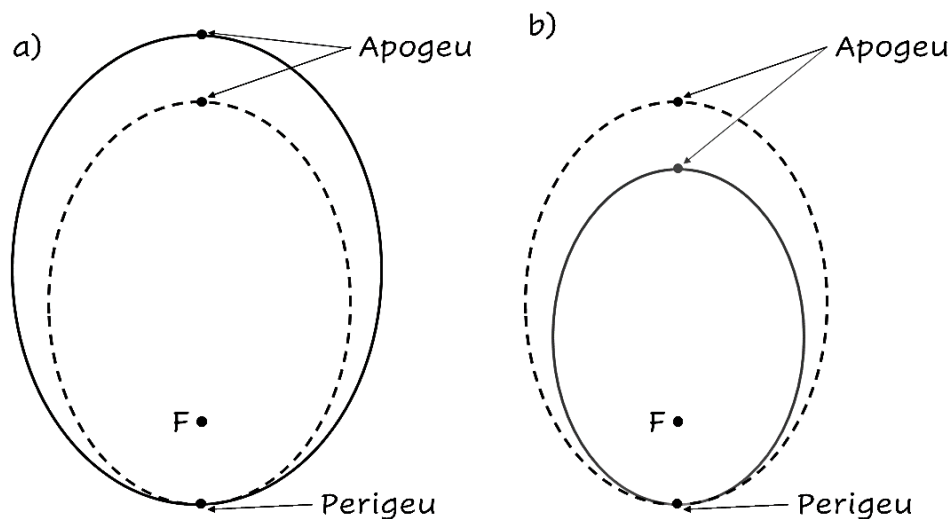
A relação que se estabelece entre a energia e a excentricidade, apesar de omitida por muitos livros textos direcionados ao ensino médio, tem o potencial de tornar a aprendizagem sobre o movimento dos corpos celestes mais significativa ao passo que se avança em níveis de conhecimentos mais altos, uma vez que tal abordagem abre caminho para

discussões acerca de diferentes formatos de órbitas que os corpos celestes podem assumir, inclusive sobre mudanças de órbitas que podem ocorrer para os satélites artificiais.

Um caso particular e importante na mudança de órbita dos satélites artificiais, e que pode ser abordado tranquilamente no ensino médio a fim de revelar as características mais importantes na mudança de órbita, é o movimento decorrente de propulsão tangencial no perigeu e/ou apogeu.

Consideremos um satélite que esteja inicialmente percorrendo uma órbita cuja excentricidade seja ϵ_1 e a energia mecânica seja E_1 . Vamos supor que, ao passar no perigeu da trajetória, o sistema de propulsão seja ativado vigorosamente por um breve intervalo de tempo ocasionando uma variação de velocidade instantânea. Essa propulsão também implica numa mudança na energia mecânica e consequentemente uma mudança na excentricidade da órbita, ou seja, uma mudança na trajetória descrita pelo satélite. Se a variação de velocidade é positiva (a energia cinética cresce), o satélite passa a descrever uma nova órbita cuja excentricidade ϵ_2 é maior que ϵ_1 (figura 8-a). Se a variação da velocidade é negativa (a energia cinética diminui), o satélite passa a descrever uma órbita com excentricidade ϵ_2 menor que ϵ_1 (figura 8-b).

Figura 8 - Mudanças na órbita de um satélite como consequência de uma propulsão tangencial no perigeu



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

3 A TEORIA DA APRENDIZAGEM DE GAGNÉ

Nascido em Massachusetts, Estados Unidos, no ano de 1916, Robert Mills Gagné foi um psicólogo educacional que teve grande influência sob os processos de aprendizagem.

Gagné é considerado um pesquisador eclético, pois seus trabalhos reúnem influências de ideias behavioristas e cognitivistas. Inicialmente, os seus trabalhos se fundamentaram em conceitos teóricos behavioristas e aos poucos se transformaram sob a perspectiva cognitivista.

O produto que é apresentado nesta dissertação se fundamenta na teoria de Gagné. Nessa perspectiva, iremos, a seguir, apresentar um panorama geral da teoria de Gagné.

3.1 A APRENDIZAGEM NA PERSPECTIVA DE GAGNÉ

Antes de apresentarmos a definição de aprendizagem na perspectiva de Gagné, é conveniente conhecermos como, na sua visão, ocorre o processo de aprendizagem. Para Gagné, há três elementos indispensáveis no processo de aprendizagem, são eles: o aprendiz, a situação estimuladora e a resposta ou desempenho (PEREIRA e DO NASCIMENTO MOREIRA, 2020).

De acordo com Gagné (1974, p. 4), “o processo de aprendizagem se realiza, pois, quando a situação estimuladora afeta de tal maneira o aprendiz que a performance por ele apresentada antes de entrar em contato com essa situação se modifica depois de ser nela colocado”.

A aprendizagem revela-se, então, como uma modificação no desempenho/comportamento do aprendiz. De acordo com Moreira (1999, p. 66):

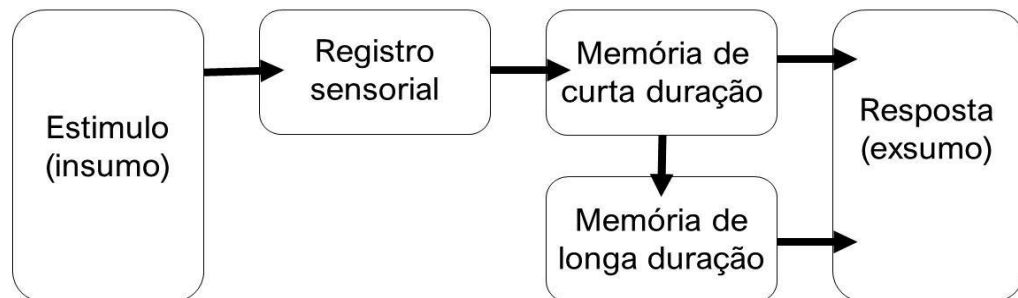
A aprendizagem é uma mudança de estado interior que se manifesta por meio da mudança de comportamento e na persistência dessa mudança (p.139). Um observador externo pode reconhecer que houve aprendizagem quando observa a ocorrência de uma mudança comportamental e também a permanência desta mudança (p.5). A aprendizagem é, portanto, segundo Gagné, uma mudança comportamental persistente.

Nesse sentido, a aprendizagem tem seu princípio associado a variedade de estímulos que o ambiente externo pode fornecer ao indivíduo. De acordo com Moreira (1999), “essa estimulação se constitui em insumo (input) para os processos de aprendizagem. O exsumo (output) é uma modificação do comportamento que é observada como um desempenho humano”.

Para Gagné, o fenômeno da aprendizagem é decorrente de processos que ocorrem “dentro da mente do estudante” para transformar o “insumo” em “exsumo”. A figura 9 esquematiza um modelo básico de processamento de informação. O estímulo afeta os receptores

do aprendiz e entra no sistema nervoso por meio de um registro sensorial. Então ela é enviada para o sistema de memória, primeiramente para a memória de curta duração, onde sua permanência é breve, da ordem de alguns segundos, para que possa ser lembrada ela sofre uma nossa transformação e segue para memória de longa duração. A informação, tanto da memória de curta duração como da memória de longa duração, é então encaminhada para um gerador de resposta que converte a informação em ação. A ação é o que possibilita um observador externo avaliar se a estimulação resultou no efeito esperado, ou seja, se houve de fato aprendizagem (MOREIRA, 1999).

Figura 9 - Modelo básico de processamento de informação



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Na visão de Gagné, a aprendizagem é alcançada por meio de eventos externos e internos ao aprendiz. Os eventos externos são facilmente observáveis, enquanto os internos são validados por meio da mudança de comportamento, que por sua vez são eventos externos e por isso podem ser verificados. Para ele, a série de eventos que conduzem um determinado ato de aprendizagem podem ser compreendidos através de oito fases. O quadro 3 apresenta as oito fases que, segundo Gagné, acompanham o ato de aprendizagem, e os processos internos envolvidos em cada uma.

Quadro 3 - Processos de aprendizagem

Fase	Processo
Motivação	Expectativa
Apreensão	Atenção; percepção seletiva
Aquisição	Codificação; entrada de armazenamento
Retenção	Armazenamento na memória
Rememoração	Recuperação
Generalização	Transferência
Desempenho	Resposta
Retroalimentação	Reforço

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

A motivação é uma fase fundamental no ato da aprendizagem, uma vez que ela se configura como um momento de preparação para a aprendizagem, ou seja, o aluno precisa estar motivado para que a aprendizagem ocorra efetivamente. Essa motivação é ativada por meio do processo da expectativa, que nada mais é do que uma antecipação da recompensa que será adquirida após alcançar algum objetivo. A fase da apreensão, por sua vez, ocorre por meio do processo de atenção e percepção seletiva. Diante de um estímulo, o aluno deve prestar atenção aos elementos relevantes ao objetivo de aprendizagem, a fim de percebê-las seletivamente e aprendê-las. Na sequência, a fase da aquisição - que é, para Gagné, o evento essencial de aprendizagem - está associada ao processo de codificação. Este é o momento no qual a informação entra na memória de curta duração, isso ocorre mediante transformações nos elementos percebidos em uma forma que é mais facilmente armazenada. Essa informação codificada é, então, na fase de retenção, armazenada na memória (MOREIRA, 1999).

A mudança comportamental persistente se verifica mediante situações em que o que foi aprendido é lembrado, de forma que possa ser verificado por meio de um desempenho. Esta é a fase da rememoração e o processo envolvido é a recuperação. Na fase da generalização, por meio do processo da transferência, espera-se que o aprendiz seja capaz de utilizar o que foi aprendido em contextos diferentes daqueles que envolveram a aprendizagem, seria, de certa forma, a aplicação do conhecimento em novas e diferentes situações. A fase do desempenho é a mudança que pode ser observada no comportamento do aluno, e o processo envolvido é a resposta. A retroalimentação (feedback) é o conhecimento dos resultados da aprendizagem, a validação de que os objetivos de aprendizagem foram alcançados, proporcionada pelo processo denominado reforço (MOREIRA, 1999).

3.2 ETAPAS INSTRUIONAIS

Os processos internos que existem em cada fase da aprendizagem podem ser influenciados pelos estímulos externos ao aprendiz, como por exemplo, explicações do professor ou um livro texto (MOREIRA, 1999). Dessa forma, é possível planejar eventos que propositalmente objetivam iniciar, ativar e manter a aprendizagem no aluno. Esses são chamados de instrução.

Segundo Gagné, “a instrução é um conjunto de eventos externos que podem apoiar e facilitar os processos de aprendizagem, os quais são organizados em sequência” (Zerbini e Abbad, 2010, p. 184).

A fim de organizar eventos externos que tendam a facilitar a ativação dos processos internos que acompanham um ato de aprendizagem, visualizamos, dentro da realidade dessa pesquisa, a possibilidade de acionar tais processos a partir de uma estrutura de seis etapas como modelo de uma instrução, a qual denominaremos de etapas instrucionais, apresentadas no quadro 3.

Quadro 4 - Etapas instrucionais

PREPARAÇÃO
Etapa 1. GANHAR A ATENÇÃO
Etapa 2. DESCREVER OS OBJETIVOS
ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO
Etapa 3. NOVO CONHECIMENTO
Etapa 4. ORIENTAR A APRENDIZAGEM
APLICAÇÃO
Etapa 5. PROPICIAR O DESEMPENHO
Etapa 6. FEEDBACK

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O momento de preparação é fundamental para o processo de aprendizagem. O aprendiz precisa estar motivado para aprender, logo, no primeiro passo, o instrutor (no nosso caso, o professor ou o texto didático) deve buscar formas de despertar o interesse imediato do aprendiz. Pode ser através da exposição de situações problemas, de perguntas provocativas, entre outras possibilidades. No passo seguinte, deve ser apresentado os objetivos de aprendizagem. Essa ação permite que o aprendiz ative o processo da atenção e da percepção seletiva quando em contato com a nova informação.

Após a preparação, a organização do conhecimento inicia pelo contato do aprendiz com o novo conteúdo (passo 3). Esse é um momento onde se busca conhecimentos prévios que já existam na estrutura cognitiva do aprendiz, para que sirvam de âncoras para os novos conhecimentos, de forma a ativar o processo de codificação. Na sequência, a orientação da aprendizagem tem como objetivo desencadear o raciocínio do aprendiz para que essa informação passe pelo processo de armazenamento na memória, para isso é necessário que o conteúdo seja explicado sistematicamente.

O evento seguinte tem foco no desempenho, deve-se buscar situações nas quais o aluno seja capaz de fazer algo novo com o aprendido. Essas situações podem ser: a elaboração de um resumo, de um mapa mental, a resolução de um problema, entre outras possibilidades. Nesse momento, espera-se que ative os processos de recuperação, transferência e resposta de forma que ele relembre o que foi aprendido e utilize esses conhecimentos em uma nova situação.

Por fim, há o passo do feedback, no qual o professor observa e avalia o desempenho do aluno e indica os acertos e erros, orientando-o a encontrar o caminho certo. Esse passo deve ser guiado pelos resultados coletados pelo desempenho dos estudantes, de forma que tal evento possa promover retomada dos conteúdos e reflexões a fim de orientar os estudantes a alcançar a completude dos objetivos de aprendizagem.

4 DESCRIÇÃO DO PRODUTO

O produto educacional a que se refere esta dissertação, desenvolvido no programa do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), é composto por um livro paradidático¹ e por uma Sequência Didática (SD) (Apêndice C), planejada para implementação do referido livro na sala de aula regular.

A seguir, apresentamos o produto em linhas gerais. Recomendamos que o apêndice seja consultado para uma análise do produto em sua íntegra.

4.1 SATÉLITES: O QUE SÃO, COMO SE MOVIMENTAM E QUAIS SUAS FINALIDADES

O livro paradidático “Satélites: o que são? como se movimentam? quais suas finalidades?” tem a proposta de ser um texto voltado para estudantes do Ensino Médio. Como o próprio título do livro sugere, o tema satélites foi norteador para a construção deste produto. Ao longo do texto, buscamos, de forma sistemática, abordar os conteúdos associados aos questionamentos (o que são? como se movimentam? quais suas finalidades?) que compõem o título.

A missão vislumbrada e planejada para esse livro são essencialmente duas: a primeira, é a de possibilitar ensinar sobre os princípios físicos que regem o movimento dos satélites de uma forma geral, tanto os princípios físicos estabelecidos pelas leis de Kepler, que por sua vez se configuram como elemento estruturante do conteúdo, como também da relação entre energia e excentricidade da órbita de um satélite; a segunda, favorecer o diálogo com a alfabetização científica, uma vez que os satélites artificiais são uma tecnologia que se faz cada vez mais presente. Nessa perspectiva, se faz necessário munir nossos estudantes com conhecimentos a respeito do contexto histórico do surgimento dos satélites, a compreensão do funcionamento de aplicações dessa tecnologia e a sua relação/impacto na sociedade, objetivado que os estudantes desenvolvam habilidades e valores para atuarem na tomada de decisões responsáveis sobre questões envolvendo os satélites.

O conteúdo do livro abrange: modelos planetários da antiguidade; leis de Kepler; sistema solar; gravitação; lançamento de satélites; corrida espacial e satélites artificiais.

Para que o produto tenha o potencial de facilitar o desencadeamento dos processos necessários para a ocorrência da aprendizagem, planejamos um texto organizado a partir das

¹ Disponível gratuitamente através do link:

<https://drive.google.com/file/d/1rQAqKQU9Gfj8MjpqBofpyUbDWp-VSOof/view?usp=sharing>

etapas instrucionais descritas no capítulo 3. É claro que, devido às próprias limitações de um livro - um texto estático -, nem todas as etapas são possíveis de serem desenvolvidas por ele. Por exemplo, a etapa do “feedback” pressupõe uma interação entre o aprendiz e o professor, o qual não pode ser realizado por um material estático. Contudo, o livro e a SD se complementam garantindo a completude da aula fundamentada pela Teoria da Aprendizagem de Gagné.

A seguir apresentamos um panorama dos conteúdos de cada capítulo e o delineamento das etapas instrucionais na construção textual.

O capítulo 1 é dedicado a introdução do conteúdo. O capítulo “2. Sistemas geocêntrico e heliocêntrico” é dedicado à apresentação e discussões sobre os sistemas geocêntrico e heliocêntrico, com ênfase nos modelos aristotélico, ptolomaico e copernicano. O texto é estruturado pelas etapas instrucionais 1, 3 e 4, conforme apresentado no quadro 5.

Quadro 5 - Delineamento do capítulo 2. Sistemas geocêntrico e heliocêntrico

2. Sistemas geocêntrico e heliocêntrico	
Etapas	Delineamento das etapas instrucionais
Etapa 1. Ganhar a atenção	i. Questionamentos provocativos relacionados à percepção dos alunos sobre o Universo e do movimento dos corpos celestes.
Etapa 3. Novo conhecimento	i. Conectando os conhecimentos prévios do leitor sobre os corpos que compõem o sistema solar e sobre o movimento dos corpos celestes e as novas informações a serem apresentadas; ii. Estabelecendo uma relação entre o papel dos astrônomos e os modelos planetários. iii. Apresentação dos modelos planetários por meio de enunciados e figuras.
Etapa 4. Orientar a aprendizagem	i. Explicando sistematicamente os sistemas planetários e os modelos de Aristóteles, Ptolomeu e Copérnico.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

No capítulo seguinte, as Leis de Kepler são formuladas e os conceitos físicos inerentes ao movimento orbital de um corpo sob ação de uma força central são explicados sistematicamente. Apresentamos o delineamento das etapas instrucionais na estrutura do texto do capítulo 3 no quadro 6.

Quadro 6 - Delineamento do capítulo 3. Leis de Kepler

3. Leis de Kepler	
Etapas	Delineamento das etapas instrucionais
Etapa 1. Ganhar a atenção	i. Ganhando a atenção do leitor abordando o contexto histórico do surgimento das Leis de Kepler.
Etapa 3. Novo conhecimento	i. Associando os trabalhos de Kepler e Tycho Brahe ao desenvolvimento dos modelos cosmológicos; ii. Estabelecendo analogia entre a energia mecânica de um satélite e a energia mecânica num movimento em rampas no formato de U; iii. Enunciado as Leis de Kepler e apresentando figuras que auxiliam na compreensão dos enunciados.
Etapa 4. Orientar a aprendizagem	i. Explicando sistematicamente as Leis de Kepler; ii. Analisando as variações de velocidade de um satélite ao longo de sua órbita através do princípio da conservação da energia e estabelecendo uma relação entre energia mecânica do sistema e a trajetória por ele descrita; iii. Relacionando a invariância do momento angular do movimento de um corpo sob ação de uma força central ao fato da trajetória ser descrita num plano.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

No capítulo 4, é um espaço para explorar o sistema solar, apresentando um panorama das luas conhecidas e as suas características orbitais, possibilitando divulgação científica e generalização do conhecimento abordado no capítulo 3. No quadro 7 é apresentado o delineamento das etapas instrucionais na estrutura do texto do capítulo 4.

Quadro 7 - Delineamento do capítulo 4. Satélites naturais

4. Satélites naturais	
Etapas	Delineamento das etapas instrucionais
Etapa 1. Ganhar a atenção	i. Utilizando um trecho de um livro de ficção escrito por Kepler para ganhar a atenção do leitor.
Etapa 3. Novo conhecimento	i. Conectando os conhecimentos sobre o movimento orbital dos satélites naturais com os conceitos estabelecidos no capítulo 3. ii. Relacionando o movimento dos satélites naturais com os fundamentos estabelecidos pelas Leis de Kepler. iii. Relacionando os eclipses as características do movimento orbital lunar. iv. Apresentação por meio de descrições dos conceitos físicos e orbitais.
Etapa 4. Orientar a aprendizagem	i. Explicando as relações entre o movimento orbital da Lua e os fenômenos eclipses e marés; ii. Apresentando as características físicas e orbitais dos satélites naturais.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A Lei da Gravitação Universal de Newton é o tema do capítulo 5. O conteúdo é abordado numa perspectiva de explicar a validade universal de tal lei, estabelecendo assim a natureza da força que atua sobre corpos discutidos no livro. O quadro 8 apresenta o delineamento das etapas do DIG no referido capítulo.

Quadro 8 - Delineamento do capítulo 5. Lei da gravitação de Newton

5. Lei da gravitação de Newton	
Etapas	Delineamento das etapas instrucionais
Etapa 1. Ganhar a atenção	i. Ganhando a atenção do leitor através do contexto histórico no qual Newton enunciou a Lei da Gravitação Universal.
Etapa 3. Novo conhecimento	i. Relacionando a força gravitacional com a queda dos corpos. ii. Enunciado a Lei da Gravitação Universal.
Etapa 4. Orientar a aprendizagem	i. Explicando sistematicamente a validade universal da Lei da Gravitação.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O quadro 9 sintetiza como as etapas instrucionais se organizam para formar a estrutura textual do capítulo “6. Movimento dos satélites”. Nele é explicado sistematicamente a relação entre a energia mecânica de um satélite e a forma da órbita por ele descrita.

Quadro 9 - Delineamento do capítulo 6. Movimento dos satélites

6. Movimento dos satélites	
Etapas	Delineamento das etapas instrucionais
Etapa 1. Ganhar a atenção	Questionamentos provocativos relacionados: i. a percepção dos alunos sobre os lançamentos de projéteis; ii. Relação entre forma da órbita descrita por um satélite artificial e a velocidade inicial de lançamento; iii. Transferências de órbitas no movimento de um satélite artificial.
Etapa 3. Novo conhecimento	i. Descrevendo a forma da trajetória descrita por um projétil lançado horizontalmente; ii. Relacionando a trajetória de um satélite artificial com a órbita elíptica; iii. Relacionando os impulsos sofridos por um satélite artificial ao aumento da energia mecânica do sistema e a forma da trajetória. iv. Descrevendo as trajetórias descritas por projéteis e satélites; v. Utilizando figuras para ilustrar as trajetórias descritas pelos projéteis/satélites. vi. Descrevendo as relações entre energia e forma da órbita de um satélite.
Etapa 4. Orientar A aprendizagem	Explicando sistematicamente: i. a relação entre velocidade inicial de um projétil lançado horizontalmente e a forma da trajetória por ele descrita; ii. a relação entre velocidade inicial de lançamento de um satélite e a forma da órbita; iii. as mudanças de órbita devido ao aumento ou diminuição da energia mecânica de um sistema Terra-satélite artificial.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

No quadro 10 é apresentado o delineamento das etapas instrucionais no capítulo “7. Corrida espacial”. Ele se caracteriza por uma narrativa histórica que apresenta o contexto do surgimento dos satélites artificiais, além de apresentar vários marcos da corrida espacial.

Quadro 10 - Delineamento do capítulo 7. Corrida espacial

7. Corrida espacial	
Etapas	Delineamento das etapas
Etapa 1. Ganhar a atenção	i. Utilizando o contexto histórico da corrida espacial.
Etapa 3. Novo conhecimento	i. Evidenciando a relação entre a massa dos satélites e a força de propulsão dos foguetes; ii. Descrevendo as órbitas dos satélites. iii.. Contexto histórico da corrida espacial; iv. Marcos da corrida espacial.
Etapa 4. Orientar a aprendizagem	i. Apresentando de forma sistemática o contexto histórico da origem dos satélites artificiais; ii. Explicando a relação entre a força de propulsão dos satélites e a massa dos satélites; ii. Analisando os impactos do Sputnik, e de outros satélites, na sociedade mundial; iv. Explicando as diferenças entre os voos orbitais e suborbitais; v. Analisando os papéis das missões espaciais <i>Mercury</i> , <i>Gemini</i> e <i>Apollo</i> na corrida espacial.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O quadro 11, por sua vez, se refere ao delineamento das etapas instrucionais no capítulo “8. Satélites e suas aplicações”. Ele se estrutura pela qualificação das classes orbitais dos satélites e pela descrição dos elementos que moldam tal órbita. Já o seu desenvolvimento se caracteriza pela descrição de atividades tecnológicas que têm os satélites artificiais como peça fundamental para sua execução, sinalizando a indissociabilidade entre os objetivos de um satélite artificial e a órbita adotada.

Quadro 11 - Delineamento do capítulo 8. Satélites e suas aplicações

8. Satélites e suas aplicações	
Etapas	Delineamento das etapas
Etapa 1. Ganhar a atenção	i. Utilizando questionamentos provocativos relacionados às possíveis órbitas que um satélite pode ocupar.
Etapa 3. Novo conhecimento	i. Relacionando as finalidades dos satélites artificiais com as características de suas respectivas órbitas. ii. Utilizando figuras e descrições para caracterizar as órbitas dos satélites artificiais, assim como as aplicações tecnológicas e suas relações com a sociedade.
Etapa 5. Orientar a aprendizagem	i. Descrevendo as características orbitais dos satélites, assim como classificando as órbitas em equatorial, inclinada e polar; ii. Descrevendo as aplicações tecnológicas e suas relações com a sociedade; iii. Analisando as relações entre as finalidades dos satélites e suas órbitas;

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O termo sequência didática (SD) é empregado, no campo da educação, para definir práticas pedagógicas que são planejadas a partir de etapas conectadas entre si, organizadas em torno de um conteúdo específico, com o objetivo de tornar o processo de ensino-aprendizagem mais eficiente. De acordo com Zabala (1998, p.24), uma SD é um “conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais”, tendo a virtude de reunir toda a complexidade da prática, “ao mesmo tempo que são instrumentos que permitem incluir as três fases de toda intervenção reflexiva: planejamento, aplicação e avaliação”.

A SD (Apêndice C) planejada para implementação do livro produzido é composta por seis aulas. A abordagem adotada para o desenvolvimento das aulas segue o método da sala de aula invertida. Nessa abordagem, os conteúdos não são transmitidos pelo professor na sala de aula. Os aprendizes são os responsáveis por estudar o material didático antes de frequentar a sala de aula, que então se torna um lugar para o desenvolvimento de atividades, como a resolução de problemas, laboratórios, discussões etc., com o suporte do professor e colaborativamente com os colegas (VALENTE, 2014). Assim sendo, as aulas da SD possuem dois estágios. O primeiro que antecede o momento da sala de aula - no qual os discentes são responsáveis por estudar os conteúdos do livro - e o segundo é o estágio da sala de aula.

Os procedimentos didáticos foram planejados com base na teoria da aprendizagem de Gagné, de forma que os estágios de cada aula são compostos pelas etapas instrucionais:

- Etapa 1. Ganhar a atenção: está relacionado a conquistar o interesse dos alunos para o conteúdo da aula. É desenvolvido em um momento introdutório da aula, no qual o professor deve utilizar de exposição de situações problemas, de perguntas provocativas, entre outras possibilidades. Também é desenvolvido pelo texto do livro;
- Etapa 2. Descrever os objetivos: os objetivos de aprendizagem devem ser apresentados aos estudantes, expondo de forma clara as expectativas de aprendizagem, de forma que eles possam prestar atenção ao conteúdo de forma seletiva e aprendê-lo;
- Etapa 3. Novo conhecimento: está relacionado a ação de apresentar o conteúdo e as tentativas de conectar os novos conhecimentos com conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. O texto do livro busca fazer conexões com os próprios conhecimentos que ele apresenta;
- Etapa 4. Orientar a aprendizagem: essa etapa busca desencadear o raciocínio do aprendiz para que a nova informação seja codificada e armazenada na memória, para isso a estratégia utilizada é explicação sistemática do conteúdo;
- Etapa 5. Propiciar o desempenho: o objetivo dessa etapa é a de colocar o aprendiz em situações nas quais ele possa fazer algo com o novo conhecimento. As situações planejadas são: elaboração de mapas mentais, resoluções de listas de exercícios, testes de conhecimento utilizando o Kahoot, análise e soluções de situações problemas;
- Etapa 6. Feedback: o objetivo dessa etapa é o de fornecer aos aprendizes um feedback do desempenho apresentado. Ele deve ser utilizado como mecanismo para comunicar os acertos e erros, buscando traçar estratégias para orientar os estudantes a compreensão correta do conteúdo. Deve-se buscar, com base nos dados coletados a partir do desempenho apresentado pelos estudantes, criar caminhos para que os conhecimentos atrelados aos objetivos de aprendizagem não alcançados possam ser completados.

5 METODOLOGIA

A seguir, estabelecemos a metodologia de aplicação do produto, caracterizando o ambiente e os procedimentos adotados na aplicação e o método utilizado para análise dos dados.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE PESQUISA

O produto foi aplicado em uma turma regular, de 32 estudantes, do primeiro ano do Curso Técnico Integrado em Informática para Internet do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), campus Caicó (figura 10).

Figura 10 - IFRN - Campus Caicó



Fonte: Wikipedia (2013)

Apesar da localização da referida instituição ser em Caicó – principal cidade da região do Seridó potiguar -, muitos estudantes que participaram dessa pesquisa são residentes em cidades circunvizinhas. A intuição ganhou destaque na região pela qualidade no ensino, por esse motivo muitos estudantes de outras cidades optam por enfrentar deslocamentos diários, que chegam a uma hora de viagem, para estudar na referida escola.

Entretanto, no período de aplicação, junho e julho de 2021, diante do isolamento social provocado pela pandemia do COVID-19, a escola adotava atividades de ensino exclusivamente remotas, denominado de ensino remoto emergencial. Nesse contexto, as aulas foram fracionadas em dois momentos, assíncrono e síncrono. Em nossa abordagem, o primeiro

é referente ao estágio antes da sala de aula, no qual os alunos desenvolviam as atividades em qualquer momento e no seu ritmo de estudos; o segundo é referente ao momento da sala de aula, mas, nesse contexto, uma sala de videoconferência.

5.2 APLICAÇÃO DO PRODUTO

A aplicação do produto teve início com a apresentação da unidade composta pelas 6 aulas que formam a SD. Primeiramente, foi exposto o tema e apresentado o planejamento da unidade, estabelecendo os conteúdos, objetivos de aprendizagem e avaliações. Na sequência, foi explicado a dinâmica das aulas, o que eles fariam nos momentos assíncronos e como seriam os momentos síncronos. Por fim, foi apresentado o livro paradidático – fruto do trabalho apresentado nesta dissertação – que seria utilizado como ferramenta de ensino dos conteúdos. Nesse momento, foi explicado a abordagem do livro, ou seja, que o conteúdo estava envolvido por narrativas de história da ciência e de aplicações tecnológicas sobre o tema. Esse momento teve como objetivo desencadear a motivação dos alunos para aprendizagem do tema, além de situar o aluno dentro da metodologia adotada.

As aulas seguiram uma estrutura de dois estágios: o primeiro estágio referente ao momento assíncrono e o segundo referente ao momento síncrono. Os 10 minutos finais de cada momento síncrono foram utilizados com a finalidade de estabelecer a tarefa para o momento assíncrono da aula seguinte, assim como apresentar os objetivos de aprendizagem e tentar desencadear o interesse nos alunos. Para isso, realizava-se questionamentos provocativos sobre o tema da aula seguinte, assim como comentários do que eles encontrariam no texto do livro.

Por vezes a tarefa do momento assíncrono estava atrelada ao desenvolvimento das etapas 1, 3, 4 e 5 da estrutura instrucional apresentada no capítulo 3. Elas eram desenvolvidas pela leitura do capítulo indicado e pelo desenvolvimento de alguma atividade avaliativa da aprendizagem. Nesses casos, os alunos tinham um prazo de até 48 horas antecedente ao momento síncrono para entregar as atividades. Nesse intervalo, entre a entrega das atividades e o momento síncrono, elas eram analisadas com a finalidade de identificar quais os objetivos de aprendizagem foram alcançados e quais não, fornecendo assim subsídio para a etapa do feedback durante o estágio da sala de aula.

Em outros momentos, a tarefa do momento assíncrono estava atrelada apenas as etapas 1, 3 e 4 da estrutura instrucional. Esse papel era desenvolvido pela tarefa de leitura do livro. As etapas do desempenho e do feedback, nesses casos, foram desenvolvidas no estágio da sala de aula.

5.3 MÉTODO DE ANÁLISE

Avaliamos os resultados obtidos pela aplicação do produto considerando a completude dos objetivos de aprendizagem estabelecidos pela SD e o desenvolvimento das atividades da SD.

Quanto ao método de análise dos resultados da aplicação do produto, no que se refere a completude dos objetivos de aprendizagem alcançados pelos alunos, consideramos um enfoque quantitativo. Utilizamos como parâmetro para avaliação da aprendizagem as categorias da Taxonomia de Bloom Revisada (TBR). No que se refere ao método de análise dos resultados sobre o desenvolvimento das atividades, consideramos um enfoque qualitativo com abordagem interpretativa.

5.3.1 Taxonomia de Bloom Revisada

A Taxonomia de Bloom Revisada (TBR) é uma estrutura que possibilita a organização e classificação dos objetivos educacionais. Ela classifica os objetivos educacionais através de duas dimensões: conhecimento e processo cognitivo.

A Dimensão do Conhecimento está diretamente relacionada ao conteúdo – aos seus elementos específicos, aos princípios, teorias, técnicas, critérios, limites de sua validade etc. Ela é organizada em quatro categorias principais, que são: conhecimento factual, conhecimento conceitual, conhecimento processual e conhecimento metacognitivo. No quadro 12 é apresentado as quatro categorias da Dimensão do Conhecimento e as suas subcategorias.

Quadro 12 - Categorias e subcategorias da Dimensão Conhecimento da TBR

Categorias principais	Subcategorias
A. Conhecimento Factual: está relacionado aos elementos básicos que os aprendizes devem conhecer para interagir em uma determinada disciplina ou resolver problemas nela.	Conhecimento da Terminologia
	Conhecimento de detalhes e elementos específicos
B. Conhecimento Conceitual: está relacionado as inter-relações entre os elementos básicos de uma disciplina que permitem que eles funcionem juntos num contexto mais elaborado.	Conhecimento de classificação e categorização
	Conhecimento de princípios e generalizações
	Conhecimento de teorias, modelos e estruturas
C. Conhecimento Processual: está relacionado ao conhecimento de “como fazer algo” utilizando métodos, critérios, algoritmos e técnicas.	Conhecimento de conteúdos específicos, habilidades e algoritmos
	Conhecimento de técnicas específicas e métodos
	Conhecimento de critérios e percepção de como e quando usar um procedimento específico
D. Conhecimento Metacognitivo: está relacionado ao conhecimento da cognição em geral, assim como consciência e percepção da própria cognição. Utiliza-se de conhecimentos interdisciplinares para resolução de problemas e/ou a escolha de melhor método, teoria ou estrutura.	Conhecimento estratégico.
	Conhecimento sobre tarefas cognitivas, incluindo conhecimento contextual e condicional apropriado
	Autoconhecimento

Fonte: Adaptado de Krathwohl (2002), p. 214; Ferraz e Belhot, 2010, p. 428

A Dimensão do Processo Cognitivo está relacionada a forma como o “conhecimento é adquirido ou construído e usado para resolver problemas diários e eventuais” (ANDERSON et al 2001 apud FERRAZ E BELHOT, 2010, p. 425). Ela é organizada em seis categoria, que são apresentadas no quadro 13, juntamente com as subcategorias.

Quadro 13 - Categorias e subcategorias da Dimensão do Processo Cognitivo

Categoria principal	Subcategoria
1. Lembrar – Recuperar conhecimento relevante da memória de longo prazo.	1.1 Reconhecendo
	1.2 Reproduzindo
2. Entender – Determinar o significado das mensagens de instrução, incluindo comunicação oral, escrita e gráfica.	2.1 Interpretando
	2.2 Exemplificando
	2.3 Classificando
	2.4 Resumindo
	2.5 Inferindo
	2.6 Comparando
	2.7 Explicando
3. Aplicar – Realizar ou usar um procedimento em uma determinada situação.	3.1 Executando
	3.2 Implementando
4. Analisar – Dividir a informação em suas partes constituintes e entender como as partes se relacionam umas com as outras e com uma estrutura ou propósito geral.	4.1 Diferenciando
	4.2 Organizando
	4.3 Atribuindo
	4.4 Concluindo
5. Avaliar – Realizar julgamentos com base em critérios e padrões.	5.1 Checando
	5.2 Criticando
6. Criar – Juntar elementos para formar um todo novo e coerente ou criar um produto original, utilizando conhecimentos e habilidades previamente adquiridos.	6.1 Generalizando
	6.2 Planejando
	6.3 Produzindo

Fonte: Adaptado de Krathwohl (2002, p. 215); Ferraz e Belhot (2010, p. 429).

Neste trabalho, para avaliar se os alunos alcançaram de fato os objetivos de aprendizagem no contexto de aplicação do produto educacional, utilizamos as características das dimensões que estruturam a TBR (quadros 12 e 13) como parâmetro para análise do desempenho apresentado pelos aprendizes. Ou seja, a Dimensão do Conhecimento é a nossa referência para os conhecimentos assimilados pelo aprendiz, enquanto a Dimensão do Processo Cognitivo fornece a base para avaliação de como o conteúdo assimilado foi demonstrado.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira avaliação que é possível de ser realizada sobre a aplicação do produto, é quanto a receptividade dos estudantes para com ele. Sobre isso, ao apresentar e contextualizar o tema da unidade de ensino, verificou-se que vários estudantes ficaram entusiasmados com o tema. Além disso, observou-se também um certo nível de expectativa ao serem informados que o livro a ser utilizado como texto de apoio era de autoria do próprio professor.

É válido salientar que em diversas oportunidades antes da aplicação do produto, essa turma já havia sido submetida a metodologia semelhante. Ou seja, o contato com o conteúdo da aula através de um texto didático não era novidade para eles. Talvez por esse motivo, não houve resistência dos alunos para com esta metodologia durante a aplicação do produto, mas ela existiu anteriormente.

Sobre o desenvolvimento dos estágios que antecederam o momento da sala de aula – momento de leitura do livro e, em alguns casos, desenvolvimento da etapa referente ao desempenho –, verificou-se que quase todos os estudantes cumpriram com as tarefas ao longo da unidade, com exceção de dois estudantes que não cumpriram nenhuma etapa referente ao desempenho.

As comunicações frequentes sobre a compreensão dos conteúdos e perguntas de aprofundamento do tema (antes mesmo do estágio da sala de aula, realizadas através de mensagens no whatsapp) foram indicadores de que o texto estava alcançando sua finalidade de comunicação.

Sobre o desenvolvimento dos estágios da sala de aula, muitos estudantes participaram ativamente das discussões sobre os conteúdos, tanto por áudio/vídeo quanto pelo chat do ambiente virtual. Outra parte dos estudantes não participaram de nenhuma forma das discussões. Entretanto, quando a etapa do desempenho foi realizada no estágio da sala de aula, através do Kahoot, eles participaram da atividade. Contudo, em alguns casos, houve registro de queda no sinal da internet de alguns alunos que acabaram por se ausentarem temporariamente da atividade.

O desenvolvimento da etapa referente ao desempenho no estágio da sala de aula oportunizou um envolvimento mais ativo dos estudantes na efetivação nos debates que guiaram o desenvolvimento da etapa do feedback.

De uma forma geral, consideramos que as etapas instrucionais adotadas na elaboração da SD possibilitaram um progresso fluido de toda a aula. Avalia-se que o texto do livro alcançou seu objetivo na apresentação do conteúdo, refletido pelos objetivos de

aprendizagem alcançados pelo desempenho dos estudantes, cujo resultados serão apresentados na sequência. No que se refere aos instrumentos utilizados para propiciar o desempenho, julga-se que eles foram adequados para avaliar os objetivos da aprendizagem estabelecidos. O feedback da aprendizagem foi uma etapa muito importante no desenvolvimento da aula, uma vez que esses momentos possibilitaram retorno sobre o desempenho dos estudantes, proporcionando debates com a participação dos alunos.

6.1 RESULTADOS DE CADA AULA

Nessa seção, apresentamos os resultados obtidos com aplicação do produto aula a aula, explicitando os dados referentes a completude dos objetivos da aprendizagem e o desenvolvimento do estágio da sala de aula.

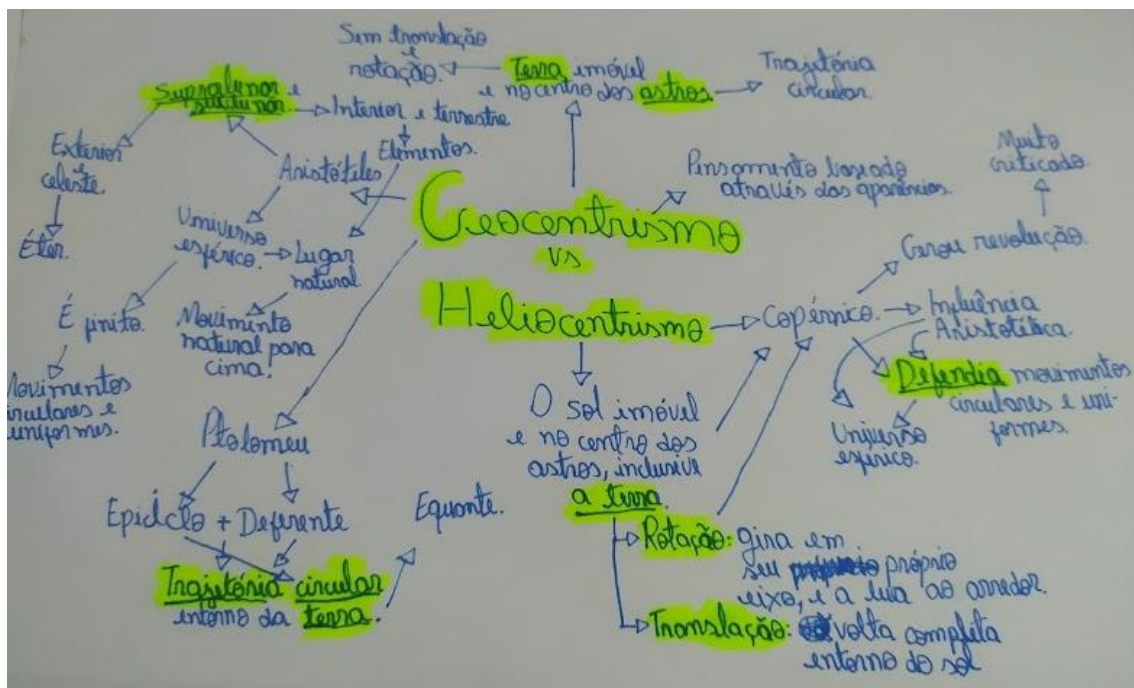
6.1.1 Aula 1

O instrumento utilizado para propiciar o desempenho nesta aula foi a elaboração de um mapa mental. Os objetivos de aprendizagem estabelecidos para ela foram:

- Objetivo 1 – Listar os sistemas planetários da antiguidade;
- Objetivo 2 – Resumir os sistemas geocêntrico e heliocêntrico;
- Objetivo 3 – Classificar os modelos de Aristóteles, Ptolomeu e Copérnico em geocêntrico ou heliocêntrico.

Na figura 11 apresentamos um mapa mental, elaborado pelo estudante 1, que alcançou todos os objetivos de aprendizagem estabelecidos para aula. Ao analisar tal figura, podemos concluir que o objetivo 1 foi alcançado quando o aluno lista os sistemas planetários no tema central do seu mapa. Sobre o objetivo 2, verificamos que o aluno demonstra o conhecimento de terminologia e de elementos específicos ao resumir as características desses sistemas. O objetivo 3 foi considerado alcançado pois o aluno classificou os modelos de Aristóteles, Ptolomeu e Copérnico em geocêntrico ou heliocêntrico.

Figura 11 - Mapa mental elaborado pelo estudante 1



Fonte: Acervo do autor (2021)

O gráfico 1 apresenta os resultados da avaliação da aprendizagem para toda turma (29 estudantes entregaram a atividade). Todos os alunos que entregaram a tarefa alcançaram o primeiro objetivo da aprendizagem. O segundo objetivo só não foi alcançado por um estudante, que apesar de ter resumido o sistema geocêntrico, não resumiu o sistema heliocêntrico. O terceiro objetivo, por sua vez, não foi alcançado por oito estudantes. Verificou-se que alguns estudantes classificaram erroneamente o modelo ptolomaico como heliocêntrico, outros simplesmente não relacionaram os modelos de Aristóteles, Ptolomeu e Copérnico a nenhum sistema planetário.

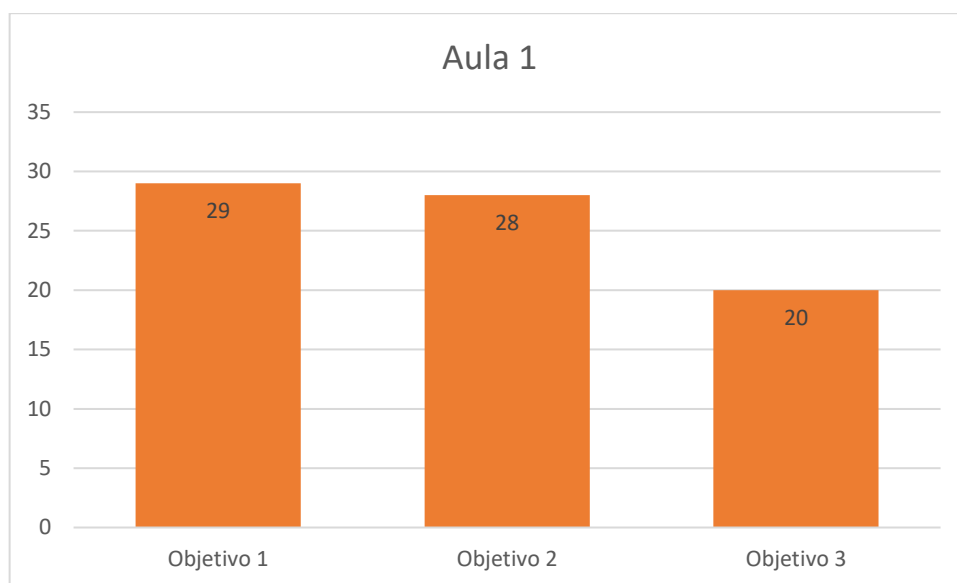
Os dados coletados e apresentados no gráfico 1 são indicadores de que os objetivos de aprendizagem foram alcançados pela maioria dos estudantes, ao mesmo tempo que sinaliza a necessidade de elucidar, na etapa do feedback, as classificações dos modelos planetários abordados no texto do livro.

No estágio da sala de aula, a etapa do feedback se desenvolveu a partir de debates que se originaram na análise do mapa mental apresentado na Figura 11. Essa etapa possibilitou fortalecer os conhecimentos já adquiridos pelos estudantes, assim como esclarecer as classificações dos modelos planetários.

A conclusão da aula ocorreu através da transposição do conhecimento adquirido pelos estudantes. Ao analisarem um trecho do livro *A Divina Comédia*, eles demonstraram

domínio do conteúdo ao apontarem os termos que caracterizavam o universo descrito na obra como geocêntrico.

Gráfico 1 – Quantitativo de estudantes que alcançaram os objetivos de aprendizagem da primeira aula



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

6.1.2 Aula 2

O conteúdo abordado nesta aula foram as leis de Kepler. O instrumento utilizado para propiciar o desempenho foi a resolução de uma lista de exercícios teóricos, disponível no anexo da SD, com fins de aplicações das leis de Kepler e análise das características do movimento orbital dos planetas. Tal instrumento foi adotado em virtude dos objetivos de aprendizagem estabelecidos:

- Objetivo 1 – Entender as leis de Kepler, resumindo e identificando as enunciações;
- Objetivo 2 – Interpretar as informações sobre movimentos orbitais postos em problemas teóricos e solucionar os problemas através da aplicação da segunda e da terceira lei de Kepler;
- Objetivo 3 – Analisar as variações de velocidade de um satélite/planeta ao longo da órbita.

A Figura 12 apresenta o desempenho da estudante 22. Ao analisar tal figura, verificamos que ao se referir a primeira lei de Kepler, na questão 1, ela faz referência apenas a

curva descrita pelo planeta sem mencionar a posição do Sol. Porém, avaliamos o objetivo 1 como alcançado, uma vez que as demais leis foram resumidas e a questão 2 foi respondida corretamente, demonstrando assim conhecimento de detalhes e elementos específicos.

As resoluções das questões 3, 4, 5 e 7 indicam que o objetivo 2 foi alcançado em suas duas interseções (uma interseção é referente a dimensão do conhecimento *conceitual* com a dimensão *entender* do processo cognitivo, a outra é referente a dimensão do conhecimento *procedimental* com a dimensão *aplicar* do processo cognitivo), uma vez que a estudante consegue entender as conexões entre as informações apresentadas no texto e aplicar as leis de Kepler de forma correta, o que demonstra o conhecimento de princípios e de teorias e a percepção de qual procedimento utilizar para solucionar o problema.

As questões 6 e 8 avaliaram o conhecimento da aluna sobre o comportamento da velocidade orbital de um planeta ao longo da sua órbita, ou seja, avaliaram se o objetivo 3 foi alcançado. Nas repostas apresentadas pela estudante, verifica-se que em sua análise do problema ela estabelece uma relação de dependência para a energia cinética do planeta com sua posição em relação ao Sol, indicando assim que o objetivo foi alcançado.

Figura 12 - Desempenho da estudante 22

Física

Lista de Exercícios:

Questão 1)

1° - lei das Órbitas: tem a trajetória do planeta varre áreas iguais em intervalos de tempos iguais.

2° - lei das Áreas: traçando uma linha do sol ao planeta é varrido uma área proporcional ao intervalo de tempo.

3° - lei Harmônica: pagando a razão entre o período de translação ao quadrado e o cubo do seu semieixo maior é a mesma para qualquer planeta.

$$\frac{T^2}{a^3} = k$$

Questão 2)

I) Falso, pois Kepler contrariava as ideias de Aristóteles e afirma que as planetas tem suas trajetórias em forma de elipse.

II) Verdadeiro, pois quanto mais próxima do sol maior sua rapidez e quanto mais longe menor.

III) Verdadeiro, definição exata da 3ª lei de Kepler.

IV) Falso, a definição apresentada é referente a lei das áreas (2ª lei).

Resposta: letra c

Questão 3)

Como diz a 2ª lei de Kepler uma linha que une o centro da estrela ao centro do planeta varre áreas iguais em intervalos de tempos iguais.

Então temos $A_1 = A_2$, como já temos o intervalo de tempo de A_1 (4 meses) A_2 tem o mesmo intervalo de tempo.

Para encontrar CA, subtraímos as áreas já calculadas, do período de translação.

$$(A_1 + A_2) - T = CA + (4 + 4) - 20 = 12 \text{ meses}$$

Resposta: letra b

Questão 4)

Kepler 20-f $\rightarrow 18$ dias

Kepler 20-e $\rightarrow 6$ dias

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} \rightarrow \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 \rightarrow \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3 = \left(\frac{18}{6}\right)^2$$

$$\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3 = \frac{36}{1} \rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \sqrt[3]{36}$$

Resposta: letra c

Questão 5)

Terra $\rightarrow \frac{T^2}{R^3} = k$ Planeta x $\rightarrow \frac{T_x^2}{R_x^3} = k$

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{T_x^2}{R_x^3} \rightarrow T_x^2 = \frac{R_x^3 \cdot T^2}{R^3}$$

$$T_x^2 = \frac{(R \cdot 10)^3 \cdot T^2}{R^3} \rightarrow T_x^2 = \frac{R^3 \cdot 10^3 \cdot 1}{R^3}$$

$$T_x = \sqrt{10^3} \rightarrow T_x = 10\sqrt{10} \rightarrow T_x \approx 32 \text{ anos}$$

Resposta: letra e

Questão 6)

I) Verdadeiro, pois quanto mais perto do sol, a Energia Cinética aumenta, consequentemente sua rapidez.

II) Falso, as planetas movem-se em órbitas elípticas.

III) Verdadeiro, pois de acordo com a 3ª lei de Kepler, o quanto longe o planeta está do sol interfere no seu período de Translação.

IV) Verdadeiro, 1ª lei de Kepler.

V) Falso, o planeta tem velocidade mínima no afélio por estar mais longe do sol com menor Energia Cinética.

Resposta: letra c

Questão 7)

$$A = 6,98 \cdot 10^{22} \text{ m}^2 - \Delta U = 360$$

$$a) \frac{A}{\Delta U} = k \rightarrow \frac{6,98 \cdot 10^{22}}{360} = \frac{A}{60}$$

$$A = \frac{60 \cdot 6,98 \cdot 10^{22}}{360} \rightarrow A = \frac{418,8 \cdot 10^{22}}{360}$$

$$A = 1,163 \cdot 10^{22} \text{ m}^2$$

b) A 2ª lei de Kepler

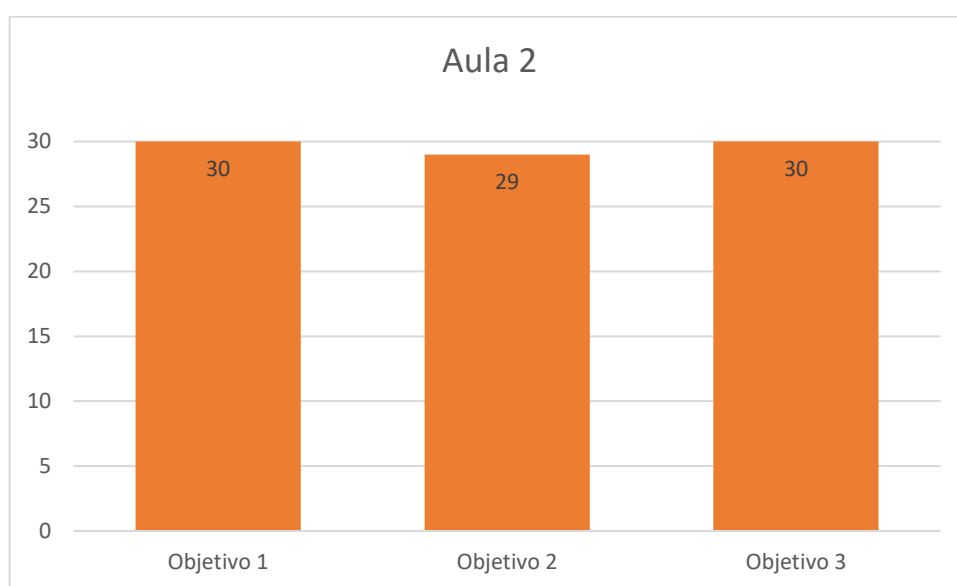
Questão 8)

a) No ponto P o planeta atinge a sua maior velocidade, pois quanto mais perto do sol a Energia Cinética aumenta e a Energia Potencial diminui, com isso aumenta a rapidez. No ponto A o planeta atinge a menor velocidade, pois quanto mais longe do sol menor Energia Cinética e rapidez.

b) PIA, VPI, JAV e AVP

No gráfico 2 apresenta-se os dados referentes ao desempenho de toda a turma (30 estudantes entregaram a atividade). Verificamos que os objetivos foram alcançados por quase todos os estudantes. Destacamos que cerca de um terço dos alunos solicitaram explicações sobre alguns dos problemas apresentados na lista de exercícios. A maioria das dúvidas foram referentes ao desenvolvimento matemático na resolução de problemas cuja solução dependia da aplicação da terceira lei de Kepler, assim como dúvidas de ordem interpretativa desses problemas.

Gráfico 2 - Quantitativo de estudantes que alcançaram os objetivos de aprendizagem da segunda aula



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Os dados apresentados pelo gráfico 2 são evidências de que o texto do livro cumpriu sua função no processo da aprendizagem das leis de Kepler, não somente no que se refere ao desenvolvimento de conhecimentos factuais sobre os enunciados dessas leis, mas também relativo à aprendizagem de conhecimentos conceituais sobre os princípios físicos que regem o movimento orbital dos planetas, mas que não estão explícitos em tais enunciados. Além disso, observamos também o desenvolvimento de habilidades atreladas ao conhecimento de procedimentos sobre aplicação das leis de Kepler e análise de movimentos orbitais através dos conhecimentos adquiridos.

Durante o estágio da sala de aula, a etapa do feedback foi materializada pela análise de todas as situações problemas propostos na atividade. Nesse desenvolvimento, alguns

questionamentos adicionais aos problemas postos nos exercícios contribuíram para ativar a participação dos alunos na aula.

Para essa aula, a etapa do feedback havia sido planejada para ocorrer separadamente da etapa do desempenho. Porém, para alguns alunos, como mencionado acima, foi necessário apresentar um feedback e orientar a aprendizagem, através de aplicativos de mensagens instantâneas, concomitante ao desenvolvimento da etapa do desempenho.

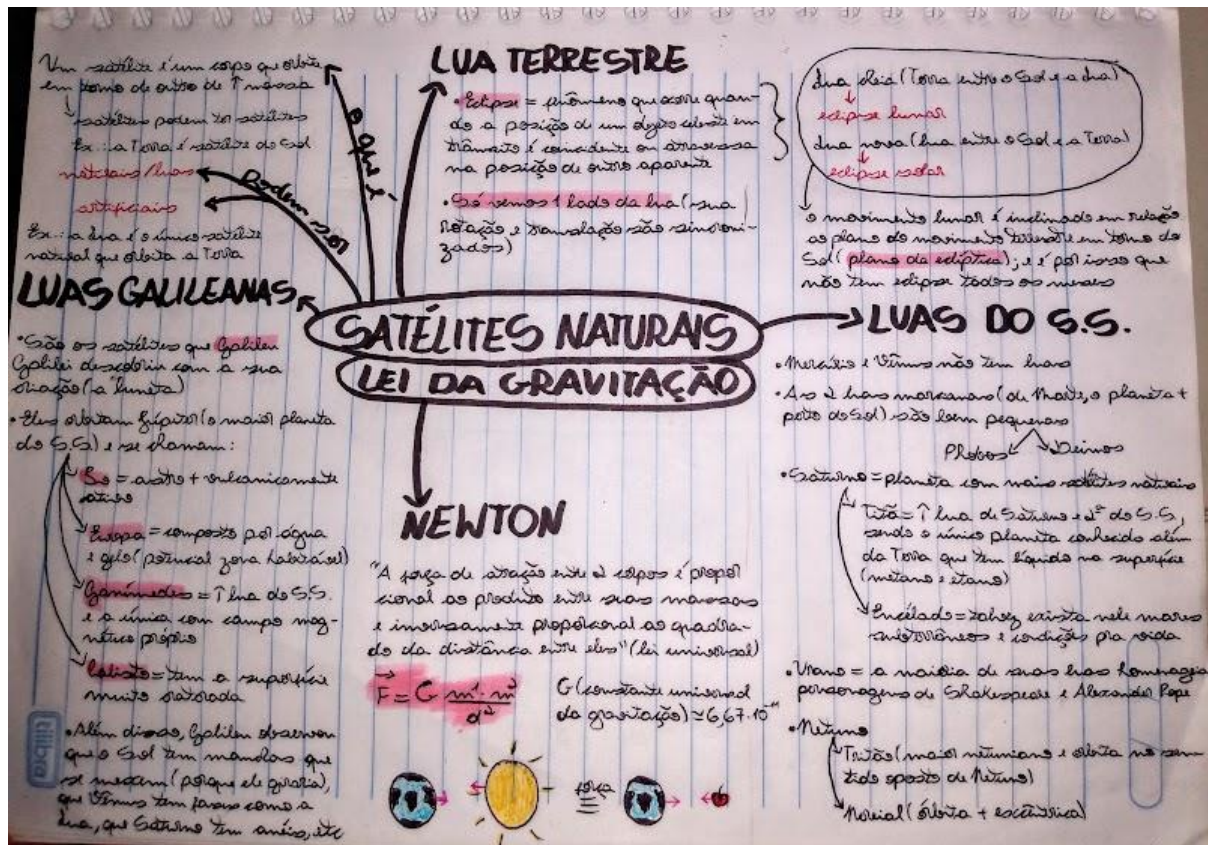
Dessa forma, salientamos que a estrutura do modelo instrucional planejado para o desenvolvimento das aulas não deve ser observada com rigidez, mas sim através da ótica que caracteriza a essência dos processos de aprendizagem. Em específico, o feedback não é uma ação que obrigatoriamente deve aguardar a conclusão da etapa do desempenho, mas que pode caminhar juntamente com ele, quando for necessário. Aliás, a depender do instrumento de avaliação, essas são duas etapas que podem naturalmente se desenvolverem de forma concomitante.

6.1.3 Aula 3

Nesta aula, o instrumento utilizado para propiciar o desempenho foi a elaboração de um mapa mental. Os objetivos de aprendizagem estabelecidos foram:

- Objetivo 1 – Listar luas do sistema solar e seus respectivos planetas;
- Objetivo 2 – Resumir o que são satélites;
- Objetivo 3 – Descrever a força gravitacional como uma força universal de atração que surge na interação de dois corpos quaisquer;
- Objetivo 4 – Analisar as características orbitais que influenciam na ocorrência dos eclipses.

Figura 13 - Mapa mental elaborado pela estudante 14

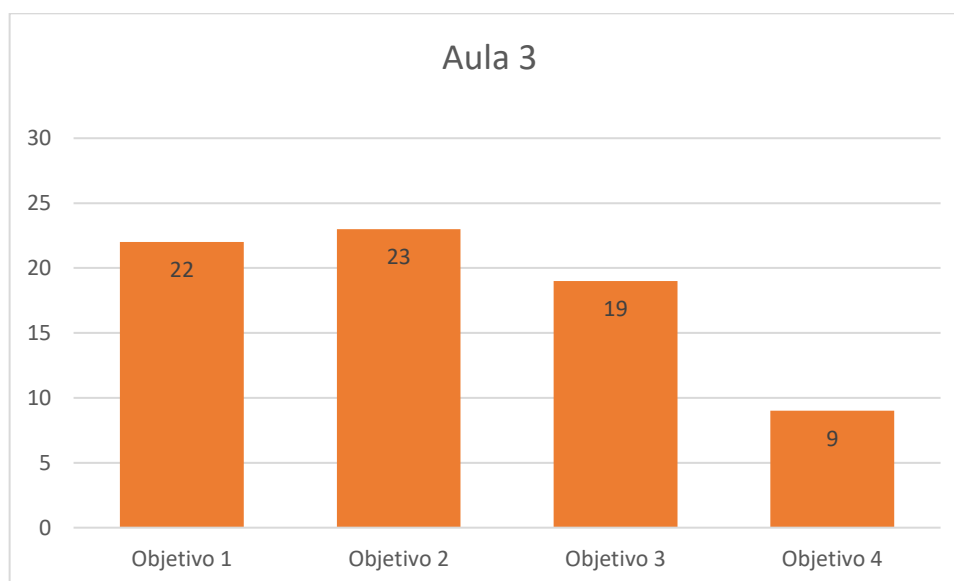


Fonte: Acervo do autor (2021).

Na figura 13 apresentamos um mapa mental, elaborado pela estudante 14, que atingiu todos os objetivos planejados para aula. Nela, visualiza-se que o objetivo 1 foi alcançado pela “listagem” dos planetas do sistema solar e suas respectivas luas – isso representa um conhecimento de detalhes e elementos específicos. O objetivo 2 foi alcançado através da definição de satélites e a apresentação de suas classificações – isso representa um conhecimento de terminologia e de elementos específicos. O objetivo 3 foi alcançado pela apresentação do enunciado da Lei da Gravitação Universal e pelos desenhos que indicam atrações entre a Terra e o Sol e a Terra e a Lua, indicando a aprendizagem de conhecimentos de teorias. O objetivo 4, por sua vez, foi alcançado ao relacionar a inclinação do plano orbital lunar com a ocorrência dos eclipses – demonstrando conhecimento de princípios do movimento orbital.

O gráfico 3 apresenta os resultados da avaliação da aprendizagem para toda turma (27 estudantes entregaram a atividade).

Gráfico 3 - Quantitativo de estudantes que alcançaram os objetivos de aprendizagem da terceira aula



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os dados apresentados no gráfico acima indicam que os objetivos 1, 2 e 3 foram alcançados pela maioria dos estudantes. Entretanto, apenas um terço dos estudantes demonstraram os conhecimentos esperados pelo objetivo 4. Esse resultado em particular indica que o texto do livro não foi capaz de guiar por completo o processo da aprendizagem desses conhecimentos. Dessa forma, durante o desenvolvimento da etapa do feedback, buscou-se oportunizar ações que guiassem o estudante pelo caminho do conhecimento almejado.

Sobre o estágio da sala de aula, a escolha de um mapa mental elaborado pelos alunos proporcionou um desenvolvimento fluido da etapa do feedback, possibilitando revisão dos assuntos do livro e discussões. A utilização do simulador Solar System enriqueceu o desenvolvimento da aula, possibilitando apresentar de forma mais concreta as características das órbitas (inclinação e excentricidade) descritas pelos corpos celestes, em particular da órbita lunar, de forma a propiciar elementos para aprendizagem das características orbitais que influenciam na ocorrência dos eclipses.

Avaliamos que a metodologia adotada proporcionou um desenvolvimento fluido entre as etapas da aula, ocasionado pela participação dos alunos diante das discussões na etapa do feedback.

6.1.4 Aula 4

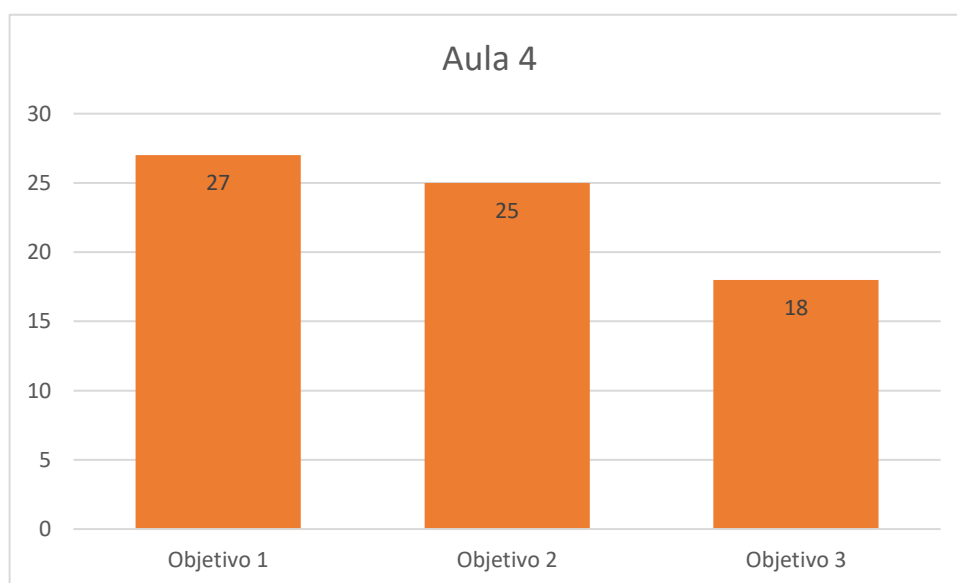
Esta aula foi sobre um tema que habitualmente não é trabalhado na sala de aula regular do ensino médio, talvez por se considerar um conteúdo relativamente complexo ou pela falta de material de apoio adequado. Contudo, planejou-se um conteúdo abordado em caráter conceitual, visando desenvolver habilidades associadas a identificação de elementos que influenciam a trajetória descrita por um satélite e para compreender as relações entre os impulsos (variações de energia mecânica) e as consequentes mudanças de órbitas.

Os objetivos de aprendizagem para esta aula foram:

- Objetivo 1 – reconhecer a relação entre a velocidade inicial no lançamento horizontal de um projétil e a forma da trajetória descrita;
- Objetivo 2 – interpretar a relação entre a forma da órbita de um satélite e a velocidade inicial de “lançamento” no espaço;
- Objetivo 3 – analisar as mudanças na órbita de um satélite ocasionadas por impulsos que possam aumentar ou diminuir a energia mecânica do corpo.

Nesta aula, a etapa do desempenho ocorreu paralelamente a etapa do feedback durante o estágio da sala de aula. O instrumento utilizado para propiciar o desempenho foi o Kahoot, os dados são apresentados no gráfico 4 (30 estudantes participaram da atividade).

Gráfico 4 - Quantitativo de estudantes que alcançaram os objetivos de aprendizagem da quarta aula



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O objetivo 1, assim como o objetivo 2, foi alcançado pela maioria dos alunos. O primeiro avaliava a aprendizagem de conhecimentos relacionados a categorização da trajetória descrita por um projétil e a relação com a velocidade inicial no lançamento horizontal. Para essa habilidade, posicionada na ordem do processo cognitivo lembrar, esperava-se que os estudantes fossem capazes de reconhecer essa relação. Já o segundo, avaliava a aprendizagem conceitual da relação entre a energia mecânica do sistema e a forma da órbita. Esse conhecimento foi avaliado pela capacidade de classificar a forma da órbita com a energia mecânica do sistema. Para ambos os objetivos, avalia-se que o texto do livro alcançou sua finalidade.

No que se refere ao objetivo 3, ele estava associado ao desenvolvimento de uma habilidade na qual os estudantes fossem capazes de dividir uma informação em partes relevantes e irrelevantes, entendendo a inter-relação existente entre elas. Ou seja, analisar as relações entre os impulsos e as variações de velocidade/energia mecânica e as consequentes mudanças nas órbitas. De fato, uma parcela considerável da turma alcançou essa habilidade em sua totalidade. Porém, muitos alunos que entenderam que um impulso provoca mudanças na órbita de um satélite, não conseguiram interpretar como seriam essas mudanças (marcaram alternativas que indicavam mudanças de órbitas, mas não a opção com a mudança de órbita correta). Talvez, o tempo de 30 segundos disponíveis para responder ao problema tenha sido pouco, sem contar os alunos que perderam a conexão durante a atividade, acarretando nesses resultados. Contudo, acredita-se que o texto do livro tenha a capacidade de subsidiar o desenvolvimento desse conhecimento.

Além do já exposto, destacamos que a dinâmica adotada na abordagem do conteúdo se mostrou satisfatória, tanto no aspecto de envolvimento dos alunos com o desenvolvimento da aula, quanto no que se refere aos resultados da aprendizagem coletados. O Kahoot, ao passo que foi um instrumento que propiciou o desempenho, propiciou caminhos adequados para o desenvolvimento da etapa do feedback.

6.1.5 Aula 5

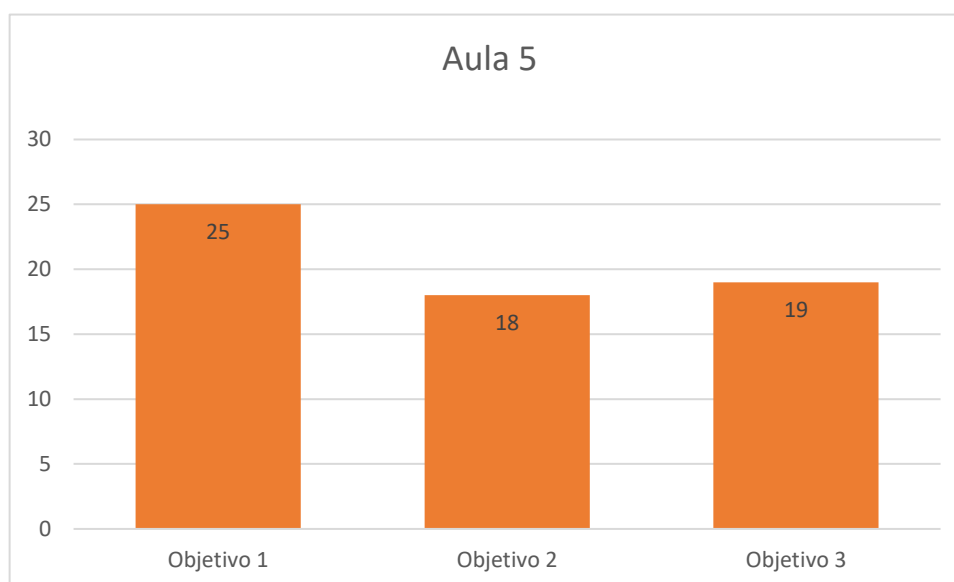
Nesta aula, o desempenho foi proporcionado por meio de um questionário de perguntas abertas e por um teste Kahoot. O gráfico 5 apresenta os dados referentes aos objetivos alcançados pelos estudantes (28 participaram do Kahoot e 30 responderam ao questionário).

Os objetivos de aprendizagens estabelecidos para aula foram:

- Objetivo 1 - Reconhecer marcos da corrida espacial;

- Objetivo 2 - Resumir os papéis das missões espaciais Mercury, Gemini e Apollo;
- Objetivo 3 - Diferenciar os voos orbital e suborbital.

Gráfico 5 - Quantitativo de estudantes que alcançaram os objetivos de aprendizagem da quinta aula



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O objetivo 1 foi alcançado pela maioria dos alunos. Esse objetivo foi avaliado através do desempenho dos alunos apresentados na atividade Kahoot, considerando-se uma assertividade igual ou superior a 50% no referido teste para contabilizar como objetivo alcançado. É necessário informar sobre possíveis problemas de conexão com a internet de alguns alunos que não responderam algumas questões ou não participaram da atividade. Contudo, ficou nítido que os alunos reconhecem os marcos da corrida espacial, sinalizando a aprendizagem do tema.

Os objetivos 2 e 3 foram avaliados por um questionário de perguntas abertas realizado antes do estágio da sala de aula. Entre os desempenhos avaliados, a maioria das respostas não detalharam o papel de cada uma das três missões, mas resumiram o objetivo geral das missões, indicando que houve identificação da finalidade delas. Essas foram consideradas como corretas.

Muitas das respostas que se considerou não ter alcançado o objetivo 3, indicavam concepções equivocadas quanto ao voo suborbital se caracterizar pela nave não ser capaz de deixar a atmosfera terrestre. Assim, durante o estágio da sala de aula, ao longo do desenvolvimento do Kahoot, buscou-se esclarecer esse ponto.

No estágio da sala de aula, a aplicação do Kahoot possibilitou perpassar pelos marcos da corrida espacial, proporcionando a cada passo o feedback da aprendizagem, unido a debates e análises dos eventos.

De modo geral, esse tema propiciou uma participação ativa dos estudantes ao longo de todo o estágio da aula. Além disso, considerando a metodologia adota e os fundamentos da aprendizagem que nortearam o desenvolvimento dessa aula, o teste Kahoot configurou-se como uma ótima ferramenta para oportunizar um feedback instantâneo da aprendizagem.

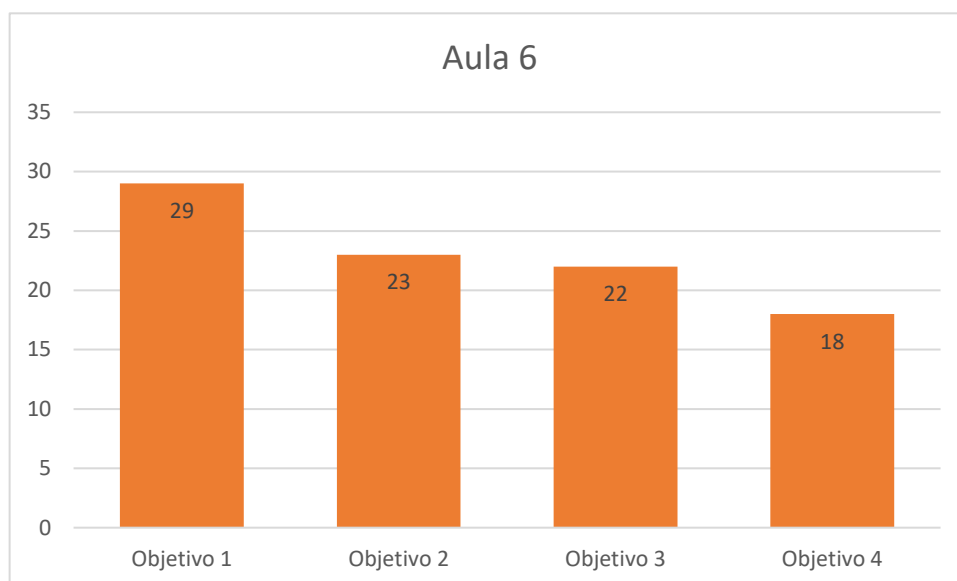
6.1.6 Aula 6

O instrumento de avaliação da aprendizagem foi um questionário de perguntas abertas. Os objetivos estabelecidos para esta aula foram:

- Objetivo 1 – Listar e descrever os elementos que moldam a órbita dos satélites artificiais;
- Objetivo 2 – Entender a utilização dos satélites de sensoriamento remoto e possíveis benefícios para preservação do meio ambiente;
- Objetivo 3 – Julgar a possibilidade de haver satélites geoestacionários em órbitas polares ou com trajetória elíptica;
- Objetivo 4 – Identificar categorias de satélites que melhor possam servir aos interesses nacionais, assim como os benefícios por ele gerado, e projetar a forma da trajetória que melhor se enquadra para esse tipo de satélite.

O gráfico 6 apresenta os dados referentes aos objetivos da aula alcançados (30 estudantes entregaram a tarefa).

Gráfico 6 - Quantitativo de estudantes que alcançaram os objetivos de aprendizagem da sexta aula



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

De acordo com os dados apresentados no gráfico 6, verifica-se que a maioria dos alunos alcançaram o objetivo 1. Esse objetivo de aprendizagem está relacionado aos conhecimentos efetivo e conceitual dos elementos que moldam a órbita de um satélite artificial. Dessa forma, consideramos como objetivo alcançado as respostas que listaram os elementos “excentricidade, altura e inclinação” e os descreveram corretamente.

Assim como o objetivo 1, o objetivo 2 também foi alcançado pela maioria dos estudantes. Ele está relacionado a aprendizagem da função dos satélites de sensoriamento remoto, assim como o conhecimento dos seus impactos para a ciência, meio ambiente e sociedade. Entre os argumentos que mais se repetiram entre as respostas apresentadas para analisar o papel e importância dos satélites de sensoriamento remoto, considerados como corretos, destacam-se:

- Monitoramento das queimadas e do desmatamento;
- Monitoramento do crescimento urbano;
- Desenvolvimento da astronomia.

O objetivo 3 também foi alcançado pela maioria. Entre as respostas consideradas incorretas (ou incompletas, portanto, não contabilizadas como objetivo alcançado) destacam-se principalmente aquelas que argumentam de forma correta para não existência da órbita geoestacionária nos polos do planeta, mas consideraram a possibilidade de existência de órbita geoestacionária com formato elíptico ou não utilizaram de argumentos consistentes.

O objetivo 4, por sua vez, foi considerado alcançado por um pouco mais da metade dos estudantes. Ele apresenta três dimensões do processo cognitivo: lembrar, entender e avaliar. As três localizadas na mesma dimensão do conhecimento. Este objetivo está associado a identificação de satélites que melhor podem servir aos interesses nacionais e a avaliação de como são suas órbitas. No que se refere a identificação (dimensão lembrar), a maioria dos respondentes citou os satélites que transmitem internet e/ou satélites de monitoramento remoto, argumentando (dimensão entender) a favor da necessidade de internet em locais afastados dos grandes centros populacionais e da proteção a mata brasileira. Porém, uma pequena parcela não foi capaz de avaliar (dimensão avaliar) como seriam as órbitas. Como exemplo, a resposta do estudante 10:

Dois tipos de satélites, um para a observação exclusiva de fenômenos, acidentes e situações que influenciem ou prejudiquem de alguma forma o meio ambiente, pois apesar dos que já existem, ainda se vivencia tragédias não só para os humanos, em uma escala econômica, quanto a sobrevivência, além de outros animais e o meio ambiente em si. E o outro seria destinada para o fornecimento de internet, para evitar dependências e otimizar o uso dessa ferramenta. Não. (estudante 10, 2021)

Durante o estágio da sala de aula, observou-se uma intensa empolgação por grande parte dos alunos, sinalizada principalmente por questionamentos relacionados ao monitoramento de queimadas e sobre os satélites utilizados para o fornecimento de internet, em especial os satélites da Starlink. É importante salientar que este produto foi aplicado em uma turma do curso técnico em informática para internet, o que provavelmente aqueceu a motivação para aprender sobre os satélites que transmitem tal tecnologia.

Os debates promovidos em torno dos satélites artificiais demonstraram que os estudantes se posicionam de forma crítica frente a tal tema, criando argumentos que relacionam essa tecnologia com os impactos para ciência, sociedade e meio ambiente. Esse dado em particular reforça a importância de considerar, no ensino de física, uma formação que pondere a alfabetização científica.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho de dissertação apresentou o desenvolvimento de um produto educacional composto por um livro digital sobre o tema *satélites* e por uma sequência didática. Além disso, configurou-se também como socialização dos resultados obtidos com a aplicação dele na sala de aula regular.

Para alcançar o objetivo geral desse trabalho – o de elaborar um produto educacional com potencialidade para ser utilizado como material de apoio de uma unidade de ensino sobre o tema satélites – definiu-se quatro objetivos específicos. O primeiro, estabelecer referenciais teóricos que possam contribuir para o planejamento estrutural do texto e das ações de implementação do livro na sala de aula de forma a favorecer a ocorrência da aprendizagem, foi sintetizado no capítulo 3, o qual contribuiu significativamente para elaboração do produto educacional, assim como para sua avaliação. O segundo e o terceiro objetivos são referentes a elaboração do produto educacional, o qual foi apresentado no capítulo 4 e a versão completa está disponível no apêndice. Por fim, o quarto e último objetivo específico – aplicar o produto e avaliar o desempenho dos estudantes frente aos procedimentos metodológicos adotados – permitiu avaliar a eficácia do produto diante da completude dos objetivos de aprendizagem estabelecidos pela ação pedagógica desenvolvida. Consideramos assim que o objetivo desse trabalho foi alcançado.

Além disso, a experiência na implementação desse produto educacional revelou alguns pontos que merecem destaque, o qual faremos a seguir.

- A Teoria da Aprendizagem de Gagné forneceu suporte teórico adequado para elaboração do produto educacional.

Para a escrita do livro, tal teoria forneceu elementos que possibilitaram estruturar o texto de forma a criar eventos que tendem a facilitar a ocorrência da aprendizagem, tais como: ganhando a atenção do leitor através de questionamentos provocativas e contexto histórico em diversas situações; estimulando a conexão com o conhecimento anterior, associando o conteúdo com conhecimentos prévios dos aprendizes, conectando os conteúdos apresentados ao longo do texto e realizando analogias para os novos conteúdos; apresentando o conteúdo de forma clara por meio de enunciados, figuras e descrições conceituais; orientando a aprendizagem, através da explicação sistemática do novo conhecimento, conexões com conhecimentos prévios, análises e descrições de fenômenos a partir dos conteúdos apresentados.

No que se refere ao planejamento da ação de aplicação do livro, os elementos dessa teoria (em especial, as fases de um ato de aprendizagem) permearam todas as etapas da SD,

desde o momento de motivação e exposição dos objetivos de aprendizagem, passando pela orientação da aprendizagem desenvolvida pelo livro, até as etapas do desempenho e do feedback.

- O livro digital “Satélites: o que são? como se movimentam? quais suas finalidades?” demonstrou potencial pedagógico para ser utilizado como ferramenta no processo de ensino-aprendizagem de uma unidade sobre o tema “satélites”.

Os resultados obtidos com a aplicação do produto na sala de aula regular, tanto no que se refere a aceitação do produto quanto a completude dos objetivos educacionais estabelecidos, são indícios da eficácia e potencialidade do material elaborado.

Entretanto, é necessário salientar que a implementação de abordagens metodológicas que utilizem livros ou textos didáticos como ferramenta de apoio ao ensino não é simples. Afinal, despertar no estudante o compromisso de leitura não é uma tarefa fácil na maioria das vezes.

Além disso, a escolha do material também não pode ser realizada de forma aleatória, uma vez que indicar materiais que não apresentem o conteúdo de forma clara e contextualizada, poderá resultar num distanciamento ainda maior dos aprendizes para com esse tipo de material. Essas barreiras foram enfrentadas antes da aplicação do referido livro, por isso não foram relatadas nesta dissertação. Contudo, quando forem superadas, tal ferramenta se mostra com grande potencial para contribuir com o processo de ensino-aprendizagem, conforme relatado na socialização dos resultados da aprendizagem obtidos em nossa experiência.

- A abordagem do tema satélites considerando suas dimensões de História, Ciência, Tecnologia e Sociedade tem a potencialidade de promover o desenvolvimento de habilidades que são características de uma formação que permitem ao cidadão atuar de forma crítica e participativa na sociedade contemporânea.

Considerando o status atual e histórico em termos de benefícios para sociedade e para o desenvolvimento da ciência e tecnologia dos satélites artificiais e das missões espaciais, assim como dos impactos no meio ambiente, avaliamos que é importante abordar tal tema na amplitude de conhecimentos que contribuam para uma formação ampla dos aprendizes.

Numa perspectiva futura, almeja-se aplicar novamente esse produto em outras turmas, objetivando melhorias do material que somente esse processo contínuo de aplicação pode revelar. Além disso, também tenho a intenção de elaborar outros materiais com fins de contribuir para o ensino de física no caminho de uma formação ampla dos estudantes.

Por fim, esperamos que o produto apresentado nesta dissertação possa ser utilizado por terceiros e que ele possa contribuir de forma significativa para formação dos nossos estudantes.

REFERÊNCIAS

- BORGES, Tatiane Daby de Fátima Faria et al. **TEORIA DA INSTRUÇÃO DE GAGNÉ E O ENSINO DA MATEMÁTICA**. Cadernos da FUCAMP, v. 19, n. 40, 2020.
- _____, Tatiane Daby de Fatima Faria. **Ensino da matemática e aprendizagem da pessoa autista: contribuições da teoria Instrucional de Robert Gagné**. 2020. 85 f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. DOI <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.839>
- BRACKMANN, Christian; MALHEIROS, Fabiane Van Ass. **Análise de desempenho de alunos utilizando a teoria de aprendizagem de Gagné e métodos operantes no Instituto Federal Farroupilha Campus Panambi**. Ciencias, tecnologías y culturas. Educación y nuevas tecnologías, p. 36, 2013.
- CAUDURO, Paola Jardim et al. **Um estudo da metodologia de Robert Gagné aplicada ao ensino de Biofísica**. 2014.
- CAVALCANTI, Marcello Henrique da Silva; RIBEIRO, Matheus Marques; BARRO, Mario Roberto. **Planejamento de uma sequência didática sobre energia elétrica na perspectiva CTS**. Ciência & Educação (Bauru), v. 24, p. 859-874, 2018
- CORREIA, Edite da Fonseca Rodrigues. **Um modelo de processamento de informação: o modelo de ensino de Gagné: potencialidades e perspectivas de aplicação a situações de ensino a distância**. Sinal. Audio, Vídeo, Scripto, p. 7-29, 1987.
- COSMOS: Uma Viagem Pessoal**. Direção: Adrian Malone. Roteiro: Carl Sagan, Ann Druyan, Steven Soter. Estados Unidos: PBS, 1980. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=kgsz7AGNIyU&list=PLWTsw1mh-VO-MONi88PiY6KstvIwx0Hcj&index=3> >. Acesso em: 22 fev. 2023.
- DE ARAÚJO, Denise Lino. **O que é (e como faz) sequência didática?**. Entrepalavras, v. 3, n. 1, p. 322-334, 2013.
- DOS SANTOS, Cícero E. JR.; ALVES, T. M. L.; BORGES, J. C. **Satélites: o que são? como se movimentam? quais suas finalidades?** IFRN. 2022. Disponível em: < <https://drive.google.com/file/d/1rQAqKQU9Gfj8MjpbBofpyUbDWp-VSOof/view?usp=sharing> >
- FERRAZ, Ana Paula do Carmo Marcheti; BELHOT, Renato Vairo. **Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais**. Gestão & produção, v. 17, p. 421-431, 2010.
- Ferreira, M. ., Filho, O. L. S. ., Strapasson, A. ., Oliveira Portugal, K. ., & Maciel, A. C. . (2021). **Simuladores digitais no contexto epistemológico de Gagné e Vygotsky: uma proposta de intervenção didática sobre eletricidade e circuitos elétricos**. Revista De Enseñanza De La Física, 33(3), 75–88. <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v33.n3.35993>.
- GAGNE, Robert M.. **Como se realiza a aprendizagem**. BRASILIA: LTC, 1974.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 10ª ed. RIO DE JANEIRO: LTC, 2016. v. 2.

KRATHWOHL, David R. A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into practice*, v. 41, n. 4, p. 212-218, 2002.

MIQUELIN, Awdry Feisser; FERRASA, Ingrid Aline De Carvalho. **Os “Três Momentos Pedagógicos” e as “Oito fases de Ensino”**: um estudo sobre o planejamento no Ensino de Ciências.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora pedagógica e universitária, 1999.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica: Mecânica**. 4ª ed. SÃO PAULO: Edgard Blücher, 2002.

PEREIRA, Djalma Gonçalves; DO NASCIMENTO MOREIRA, Sandra Maria. **A teoria da aprendizagem de processamento da informação de Robert Gagné: exposição e crítica**. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 9, p. 72270-72281, 2020.

SILVA, Vailton Afonso da; MARTINS, Maria Inês. **Análise de questões de Física do Enem pela taxonomia de Bloom revisada**. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, v. 16, p. 189-202, 2014.

TAYLOR, John. **Mecânica Clássica**. 1ª ed. SÃO PAULO: Bookman, 2013.

VALENTE, José Armando. **Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida**. *Educar em revista*, p. 79-97, 2014.

VASCONCELOS, Clara; PRAIA, João Félix; ALMEIDA, Leandro S. **Teorias de aprendizagem e o ensino/aprendizagem das ciências: da instrução à aprendizagem**. *Psicologia escolar e educacional*, v. 7, p. 11-19, 2003.

WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Ficheiro: Johannes Kepler 1610.jpg. Disponível em: < https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Johannes_Kepler_1610.jpg >. Acesso em: 24 fev. 2023.

_____: a enciclopédia livre. Ficheiro: Tycho Brahe.JPG. Disponível em: < https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Johannes_Kepler_1610.jpg >. Acesso em: 24 fev. 2023.

_____: a enciclopédia livre. Ficheiro: IFRN Caico.JPG. Disponível em: < https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:IFRN_Caico.JPG >. Acesso em: 24 fev. 2023.

WILLIAMS, David R. Planetary Fact Sheet – Metric. Disponível em: < <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/> >. Acesso em: 24 fev. 2023.

_____, David R. Comet Fact Sheet. Disponível em: < <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/cometfact.html> >. Acesso em: 24 fev. 2023.

Young, Hugh D. **Física II, Sears e Zemansky: termodinâmica e ondas** / Hugh D. Young, Roger A. Freedman; colaborador A. Lewis Ford; tradução Daniel Vieira; revisão técnica Adir Moysés Luiz. – 14. ed. – São Paulo: Pearson Education do Título original: Sears e Zemansky's: University physics with modern physics. Bibliografia. ISBN 978-85-4301-814-0

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. trad. Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

ZERBINI, Thaís; ABBAD, Gardênia. **Aprendizagem induzida pela instrução em contexto de organizações e trabalho: uma análise crítica da literatura**. Cadernos de Psicologia Social do Trabalho, v. 13, n. 2, p. 177-193, 2010.

APÊNDICE A – DEDUÇÃO DA PRIMEIRA LEI DE KEPLER

Neste momento iremos descrever a trajetória de uma partícula sob ação de uma força central, de forma mais específica, o nosso interesse está relacionado a deduzir a lei das órbitas de Kepler.

Consideremos inicialmente a equação da Segunda Lei de Newton escrita em coordenadas polares planas:

$$\vec{F}_R = F_{R,r}\hat{r} + F_{R,\phi}\hat{\phi} \quad .(20)$$

Como a força central atua sempre na direção do raio vetor $\vec{r}$, ela possui apenas componente radial, de forma que a componente tangencial $F_{R,\phi}$ é nula. A componente radial da força pode ser escrita como:

$$F_{R,r} = m \left[\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 \right] \quad .(21)$$

Sendo assim, a equação de Newton em coordenadas polares para ação de uma força central se torna:

$$\vec{F}_R = m \left[\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 \right] \hat{r} \quad .(22)$$

Tomemos então o problema como um todo: uma partícula que se move sob a ação única de uma força central $F(r)\hat{r}$ (Figura 6). Dessa forma, a equação de Newton, em módulo, para o problema é:

$$m \left[\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 \right] = F(r), \quad .(23)$$

No caso dos corpos celestes, $F(r)$ é a força gravitacional. Para simplificar as equações que seguem, escreveremos a força gravitacional como:

$$F(r) = -\frac{GMm}{r^2} = -\frac{\gamma}{r^2} \quad .(24)$$

Sendo γ é a constante da força. Considerando que a força gravitacional apresentada na Eq. 24 é a mesma que surge no lado direito da Eq. 23, combinando-as e reorganizando os membros, podemos escrever:

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 r - \frac{\gamma}{mr^2} \quad .(25)$$

Da Eq. 8, podemos escrever $d\phi/dt$ como sendo igual a L/mr^2 . Substituindo essa relação na Eq. 25, obtemos:

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{L^2}{m^2 r^3} - \frac{\gamma}{mr^2} \quad .(26)$$

A Eq. 26 apresenta r como uma função de t , porém, para o nosso propósito, conhecer r em função de ϕ ($r = r(\phi)$) será mais útil. A fim de expressar r como $r(\phi)$, invocaremos uma série de artifícios para alcançar tal objetivo. Primeiro, realizando a substituição:

$$r = \frac{1}{u} \quad .(27)$$

Na sequência, reescrevemos o operador diferencial d/dt em termos de $d/d\phi$:

$$\frac{d}{dt} = \frac{d\phi}{dt} \frac{d}{d\phi} = \frac{L}{mr^2} \frac{d}{d\phi} = \frac{Lu^2}{m} \frac{d}{d\phi} \quad .(28)$$

As alterações na penúltima e na última igualdade são decorrentes das Eqs. 8 ($L = mr^2 \frac{d\phi}{dt}$) e 27.

Considerando a identidade obtida na Eq. 28 para o operador d/dt , podemos reescrever d^2r/dt^2 em função de ϕ . Primeiramente,

$$\frac{dr}{dt} = \frac{d}{dt}(r) = \frac{Lu^2}{m} \frac{d}{d\phi} \left(\frac{1}{u} \right) = -\frac{L}{m} \frac{du}{d\phi} \quad , (29)$$

na sequência,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dr}{dt} \right) = \frac{Lu^2}{m} \frac{d}{d\phi} \left(-\frac{L}{m} \frac{du}{d\phi} \right) = -\left(\frac{Lu}{m} \right)^2 \frac{d^2u}{d\phi^2} \quad .(30)$$

Assim, podemos substituir as Eqs. 30 e 27 na Eq. 26 para reescrevê-la como:

$$-\left(\frac{Lu}{m} \right)^2 \frac{d^2u}{d\phi^2} = \frac{L^2(u)^3}{m^2} - \frac{\gamma(u)^2}{m} \quad , (31)$$

$$\frac{d^2u(\phi)}{d\phi^2} = -u(\phi) + \frac{\gamma m}{L^2} \quad .(32)$$

A Eq. 32 apresenta a forma que desejávamos para formulação do problema. Uma equação diferencial de segunda ordem que pode ser facilmente solucionada ao se considerar a seguinte substituição:

$$w(\phi) = u(\phi) - \frac{\gamma m}{L^2} \quad , (33)$$

de forma que a equação se torna,

$$\frac{d^2w(\phi)}{d\phi^2} - w(\phi) = 0 \quad .(34)$$

A solução geral para Eq. 34 é:

$$w(\phi) = A \cos(\phi - \delta) \quad .(35)$$

Em que A é uma constante positiva e δ também é um constante, que pode ser considerada igual a zero para o nosso problema. Assim, a solução geral para $u(\phi)$ pode ser escrita como:

$$u(\phi) = A \cos \phi + \frac{\gamma m}{L^2} = \frac{\gamma m}{L^2} (1 + \epsilon \cos \phi) \quad .(36)$$

Sendo ϵ uma outra constante adimensional definida como $AL^2/\gamma m$.

Retornando a variável $r(\phi)$:

$$r(\phi) = \frac{\frac{L^2}{\gamma m}}{1 + \epsilon \cos \phi} \quad (37)$$

ou

$$r(\phi) = \frac{D}{1 + \epsilon \cos \phi} \quad .(38)$$

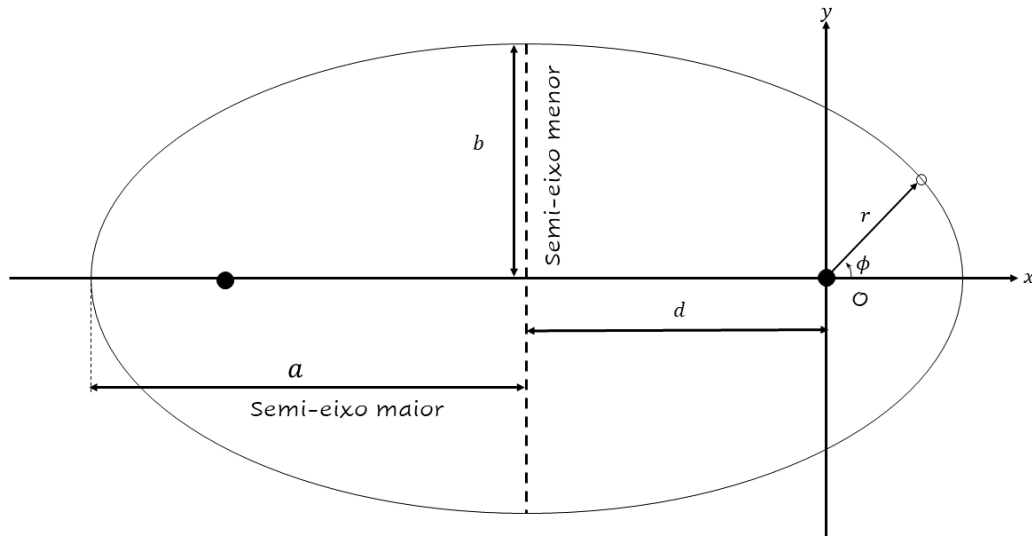
Essa é a solução do nosso problema, onde D é uma constante com dimensão de comprimento, definida como $L^2/\gamma m$ e ϵ é uma constante positiva.

Obtivemos uma equação que descreve a forma da trajetória para qualquer corpo celeste sob ação da força gravitacional considerada como uma força central. Ela é a forma polar para descrição de um seletivo grupo de curvas denominadas de cônicas: elipse, hipérbole ou parábola. Ou seja, a força da gravidade move todos os corpos celestes ao longo de secções cônicas. Como o movimento dos planetas (dos satélites de uma forma geral) são trajetórias fechadas, as suas curvas são elipses.

Podemos transformar a Eq. 38 para obtermos a equação da elipse (figura 14) sob a forma de coordenadas cartesianas:

$$\frac{(x + d)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad .(39)$$

Figura 14 - Elipse com o foco na origem do sistema coordenadas polares plana.



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Para isso, multiplicamos os dois lados da Eq. 38 por $1 + \epsilon \cos\phi$ e reorganizamos os membros para obter:

$$r = D - \epsilon x \quad , (40)$$

onde $x = r \cos\phi$.

Elevando os dois lados da Eq. 40 ao quadrado e lembrando que $r^2 = x^2 + y^2$, temos:

$$x^2 + y^2 = D^2 + (\epsilon x)^2 - 2D\epsilon x \quad , (41)$$

$$(1 - \epsilon^2)x^2 + 2D\epsilon x + y^2 = D^2 \quad . (42)$$

Dividindo os dois lados da Eq. 42 por $(1 - \epsilon^2)$ e definindo $d = D\epsilon/(1 - \epsilon^2)$, temos:

$$(x^2 + 2dx) + \frac{y^2}{1 - \epsilon^2} = \frac{D^2}{1 - \epsilon^2} \quad . (43)$$

Somando o termo d^2 aos dois lados da Eq. 43, obtemos:

$$(x^2 + 2dx + d^2) + \frac{y^2}{1 - \epsilon^2} = \frac{D^2}{1 - \epsilon^2} + d^2 \quad , (44)$$

$$(x + d)^2 + \frac{y^2}{1 - \epsilon^2} = \frac{D^2}{1 - \epsilon^2} \left(1 + \frac{\epsilon^2}{1 - \epsilon^2}\right) = \frac{D^2}{(1 - \epsilon^2)^2} \quad , (45)$$

$$\frac{(x + d)^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2(1 - \epsilon^2)} = \frac{(x + d)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad . (46)$$

Onde:

$$a = \frac{D}{1 - \epsilon^2} \quad , (47)$$

$$b = \frac{D}{(1 - \epsilon^2)^{\frac{1}{2}}} \quad , (48)$$

$$d = \epsilon a \quad . (49)$$

Essa é a definição padrão de uma elipse com a e b equivalentes ao semieixo maior e o semieixo menor, respectivamente. O termo $x + d$ que difere da forma mais comum de se apresentar a equação de uma elipse, decorre do fato do centro de força (o Sol, no caso do movimento planetário) não está no centro da elipse, mas sim a uma distância d desse centro.

Além disso, podemos atribuir o significado a constante ϵ , que até então era tida como arbitrária: ela é a excentricidade da elipse. Verificamos tal definição ao dividir o valor de b pelo valor de a , elevando os dois membros da equação ao quadrado e reorganizando os membros, para obter:

$$\epsilon^2 = 1 - \frac{b^2}{a^2} \quad . (50)$$

Essa é a definição de excentricidade de uma elipse. Se tomarmos $\epsilon = 0$, então $b = a$ e a elipse se torna um círculo; à medida que ϵ cresce, a elipse se torna mais achatada; quando $\epsilon \rightarrow 1$, a elipse se torna muito magricela e alongada.

Dessa forma, demonstramos a primeira Lei de Kepler partindo das equações de Newton.

Periélio e afélio

Dois pontos característicos da órbita de um planeta são o periélio e o afélio. O primeiro é definido como o ponto da órbita em que o planeta está mais próximo do Sol. O segundo, como o ponto da órbita em que o planeta está mais distante do Sol. A caracterização desses pontos na órbita é fundamental para análise da relação entre energia cinética e energia potencial gravitacional ao longo da trajetória de um corpo celeste.

Esses dois pontos podem ser representados como $r_{\min}$ e $r_{\max}$ através da Eq. 38. Quando $\phi = 0$, o planeta se encontra no periélio:

$$r_{\min} = \frac{D}{1 + \epsilon} \quad . (51)$$

Quando $\phi = \pi$, o planeta se encontra no afélio:

$$r_{\max} = \frac{D}{1 - \epsilon} \quad . (52)$$

APÊNDICE B – DEMONSTRAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE ENERGIA MECÂNICA DO SATÉLITE E EXCENTRICIDADE DA ÓRBITA

Estamos interessados em demonstrar a Eq. 19, apresentada no capítulo 2.

Para tal, partiremos da seguinte equação para energia mecânica E :

$$E = \frac{1}{2} \frac{L^2}{mr^2} - \frac{\gamma}{r} \quad (53)$$

Como em todos os pontos da órbita a energia mecânica E possui o mesmo valor, podemos escrever a energia mecânica para a distância $r = r_{\min}$, que por sua vez será válida para qualquer ponto da trajetória.

$$E = \frac{1}{2} \frac{L^2}{mr_{\min}^2} - \frac{\gamma}{r_{\min}} \quad (54)$$

$$E = \frac{1}{2r_{\min}} \left(\frac{L^2}{mr_{\min}} - 2\gamma \right) \quad (55)$$

Substituindo $r_{\min}$, dado pela Eq. 51. Obtemos:

$$E = \frac{1 + \epsilon}{2D} \left[\frac{L^2(1 + \epsilon)}{mD} - 2\gamma \right] \quad (56)$$

Sendo D igual a $L^2/\gamma m$ (definição apresentada no Apêndice A). Logo,

$$E = \frac{\gamma m(1 + \epsilon)}{2L^2} [\gamma(1 + \epsilon) - 2\gamma] \quad (57)$$

$$E = \frac{\gamma^2 m}{2L^2} (\epsilon^2 - 1) \quad .$$

Que é a equação que queríamos demonstrar.

APÊNDICE C – PRODUTO EDUCACIONAL (SEQUÊNCIA DIDÁTICA)

A seguir, apresenta-se o produto educacional desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
RIO GRANDE DO NORTE
DIRETORIA ACADÊMICA DE CIÊNCIAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 10

Cícero Elias dos Santos Júnior

PRODUTO EDUCACIONAL

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA UTILIZAÇÃO DO LIVRO
DIGITAL “SATÉLITES: O QUE SÃO? COMO SE MOVIMENTA? QUAIS
SUAS FINALIDADES?”

Natal-RN

2022

Cícero Elias dos Santos Júnior

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA UTILIZAÇÃO DO LIVRO DIGITAL
“SATÉLITES: O QUE SÃO? COMO SE MOVIMENTA? QUAIS SUAS FINALIDADES?”

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: ELABORAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE UM LIVRO DIGITAL PARA ABORDAGEM DO TEMA SATÉLITES NO ENSINO MÉDIO, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 10 – IFRN, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(es):

Dr. Tibério Magno de Lima Alves

Dr. Jacques Cousteau da Silva Borges

Natal-RN

2022

AGRADECIMENTOS

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

Sumário

1. APRESENTAÇÃO	5
2. AULA 1	7
3. AULA 2	9
4. AULA 3	14
5. AULA 4	16
6. AULA 5	18
7. AULA 6	20
REFERÊNCIAS	23

1. Apresentação

Esse material instrucional é composto por um conjunto de sequências didáticas que são sugeridas para se trabalhar o conteúdo do livro digital “Satélites: o que são, como se movimentam e suas finalidades”. Esse livro é um produto educacional desenvolvido pelos autores ao longo do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) no polo 10 – IFRN – Campus Natal Central. O livro está disponível gratuitamente no formato de .PDF através do link: <
<https://drive.google.com/file/d/1rQAqKQU9Gfj8MjpbqBofpyUbDWp-VSOof/view?usp=sharing> >

Cada sequência didática proposta é referente a uma aula de 90 minutos. Ao todo, seis aulas compõem uma unidade de ensino que aborda o conteúdo do livro. Cada aula possui dois estágios: o primeiro antecede o momento da sala de aula – onde os estudantes são responsáveis por cumprir as tarefas orientadas pelo professor, que podem ser desenvolvidas em qualquer tempo e no seu ritmo de estudos – e o segundo é o estágio da sala de aula.

Os procedimentos didáticos foram planejados com base na teoria da Aprendizagem de Gagné, de forma que os estágios de cada aula são compostos pelas seguintes etapas instrucionais:

- Etapa 1. Ganhar a atenção: está relacionado a conquistar o interesse dos alunos para o conteúdo da aula. É desenvolvido em um momento introdutório da aula, no qual o professor deve utilizar de exposição de situações problemas, de perguntas provocativas, entre outras possibilidades. Também é desenvolvido pelo texto do livro;
- Etapa 2. Descrever os objetivos: os objetivos de aprendizagem devem ser apresentados aos estudantes, expondo de forma clara as expectativas de aprendizagem, de forma que eles possam prestar atenção ao conteúdo de forma seletiva e aprendê-lo;
- Etapa 3. Novo conhecimento: está relacionado a ação de apresentar o conteúdo e as tentativas de conectar os novos conhecimentos com conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. O texto

do livro busca fazer conexões com os próprios conhecimentos que ele apresenta;

- Etapa 4. Orientar a aprendizagem: essa etapa busca desencadear o raciocínio do aprendiz para que a nova informação seja codificada e armazenada da memória, para isso a estratégia utilizada é explicação sistemática do conteúdo;
- Etapa 5. Propiciar o desempenho: o objetivo dessa etapa é a de colocar o aprendiz em situações nas quais ele possa fazer algo com o novo conhecimento. As situações planejadas são: elaboração de mapas mentais, resoluções de listas de exercícios, testes de conhecimento utilizando o Kahoot, análise e soluções de situações problemas;
- Etapa 6. Feedback: o objetivo dessa etapa é o de fornecer aos aprendizes um feedback do desempenho apresentado. Ele deve ser utilizado como mecanismo para comunicar os acertos e erros, buscando traçar estratégias para orientar os estudantes a compreensão correta do conteúdo. Deve-se buscar, com base nos dados coletados a partir do desempenho apresentado pelos estudantes, criar caminhos para que os conhecimentos atrelados aos objetivos de aprendizagem não alcançados possam ser completados.

De forma geral, as duas primeiras são sempre desenvolvidas em momentos que antecedem o contato do aluno com o conteúdo. As etapas 3 e 4 são desenvolvidas principalmente pelo texto do livro, mas o professor também pode intervir caso julgue necessário – todas essas etapas são desenvolvidas no primeiro estágio da aula. A etapa 5, por sua vez, por vezes será desenvolvida no primeiro estágio da aula e em outras aulas será no segundo estágio. A etapa 6 é planejada para ser desenvolvida no segundo estágio da aula, contudo o feedback da aprendizagem também pode surgir no primeiro estágio, quando os aprendizes demonstrem necessidade de auxílio no evento do desempenho.

2. Aula 1

Tema:

Modelos planetários geocêntrico e heliocêntrico.

Conteúdos:

Modelos planetários de Aristóteles, Ptolomeu e Copérnico.

Objetivos:

Objetivo 1 – Listar os sistemas planetários da antiguidade;

Objetivo 2 – Resumir os sistemas geocêntrico e heliocêntrico;

Objetivo 3 – Classificar os modelos de Aristóteles, Ptolomeu e Copérnico em geocêntrico ou heliocêntrico.

Procedimentos:

1º estágio: momento assíncrono

- Os estudantes serão orientados a ler os capítulos *1. Introdução* e *2. Sistema geocêntrico VS Sistema heliocêntrico* do livro;
- Atividade A: elaborar um mapa mental sobre o tema.

2º estágio: momento síncrono

Etapas do Feedback (duração estimada: 60 minutos)

- Análise da atividade *mapa mental*

Essa etapa se inicia a partir da escolha um mapa mental elaborado por um dos alunos, com a finalidade de observar o desempenho - indicando os acertos e possíveis erros/equívocos de toda a turma. Embora tal análise seja em torno de um mapa mental em específico, o feedback não deve se limitar apenas ao que é apresentado por ele. Se faz necessário que o professor conheça o desempenho dos aprendizes como um todo, podemos assim realizar feedback para todos.

Por se tratar de um conteúdo voltado para formalização de conceitos que caracterizam os modelos cosmológicos e de história da ciência, que por sua vez estão diretamente associados ao surgimento de tais modelos, o prosseguimento dessa etapa se

dará através de discussões sobre os fundamentos conceituais desses modelos, estratégia essa que visa promover aprendizagem dos conhecimentos não alcançados pelos alunos e de solidificar os conhecimentos já adquiridos. Para tal, se faz necessário que o professor busque meios para promover a participação dos estudantes.

Algumas dicas de tópicos que podem guiar as discussões:

- Modelos geocêntrico e heliocêntrico:

Os estudantes serão estimulados a expressarem sua compreensão dos modelos cosmológicos apresentados no livro a partir dos seguintes questionamentos: Quais as características do universo geocêntrico? Quais as características do universo heliocêntrico?

- Modelos aristotélico e ptolomaico:

Este momento será dedicado a análise dos modelos de Aristóteles, Ptolomeu e Copérnico.

O professor irá questionar os estudantes sobre como Aristóteles explicava o movimento dos corpos, e se essa justificativa teria coerência dentro de um modelo heliocêntrico.

Transposição do conhecimento (duração estimada: 20 minutos)

Será analisado trechos do poema A Dívida Comédia, com a finalidade de debater a forte influência do pensamento aristotélico no período conhecido como baixa idade média.

Considerações finais e encaminhamentos para próxima aula (duração estimada: 10 minutos).

3. Aula 2

Tema:

Leis de Kepler.

Conteúdos:

Leis de Kepler.

Objetivos:

Objetivo 1 – Entender as leis de Kepler, resumindo e identificando as enunciações;

Objetivo 2 – Interpretar as informações sobre movimentos orbitais postos em problemas teóricos e solucionar os problemas através da aplicação da segunda e da terceira lei de Kepler;

Objetivo 3 – Analisar as variações de velocidade de um satélite/planeta ao longo da órbita.

Procedimentos:**1º estágio: momento assíncrono**

- Os estudantes serão orientados a ler o capítulo 3. *Leis de Kepler* do livro;
- Atividade B: Resolução da lista de exercícios.

2º estágio: momento síncrono

Etapas do feedback (duração estimada: 60 minutos):

Nesse estágio, é tomado como estratégia a resolução de todos os problemas propostos na lista de exercício, invocando fragmentos textuais e figuras do livro a cada situação problema discutida, buscando inclusive, quando for o caso, indicar estratégias na solução dos problemas teóricos. Deve-se buscar apresentar com clareza os acertos e erros averiguados no desempenho apresentado pelos estudantes.

É importante que a participação dos estudantes seja estimulada durante todo esse estágio, de forma que eles se sintam à vontade para expressar a compreensão do conteúdo e de esclarecer possíveis dúvidas.

Transposição do conhecimento (duração estimada: 20 minutos):

O objetivo desta etapa é fazer com que os alunos entendam que os fundamentos estabelecidos pelas leis de Kepler são válidos para qualquer corpo orbitando em torno de outro de maior massa, ou seja, estender a validade dos princípios estabelecidos pelas leis de Kepler para qualquer satélite.

Considerações finais e encaminhamentos para próxima aula (duração estimada: 10 minutos)

Material proposto:

Atividade B

Objetivo 1 será avaliado pelas questões:

1. Descreva as leis de Kepler.

2. (IFPR-2019) O sistema geocêntrico, Terra como centro do universo, prevaleceu por séculos e a partir da idade média, hipóteses que contrariavam esse sistema começaram a ganhar adeptos. Nicolau Copérnico, em seus estudos, propôs o heliocentrismo, segundo o qual os planetas, então conhecidos na época, descreveriam órbitas ao redor do Sol. Esse sistema permaneceu durante um bom tempo, até que, anos mais tarde, o alemão Johannes Kepler (1571-1630) enunciou três leis que descrevem o movimento dos planetas no sistema solar. Com relação as leis de Kepler podemos afirmar que:

I) A lei das órbitas presume que os planetas descrevem órbitas circulares e o Sol ocupa o centro.

II) Uma consequência da lei das áreas é o fato de que a velocidade do planeta, ao percorrer sua órbita, não é constante.

III) A lei dos períodos diz que a razão entre os quadrados dos períodos de translação dos planetas e os cubos dos respectivos raios médios das órbitas é constante.

IV) Segundo a lei das órbitas, no movimento de órbita do planeta, o raio vetor varre áreas iguais em tempos iguais.

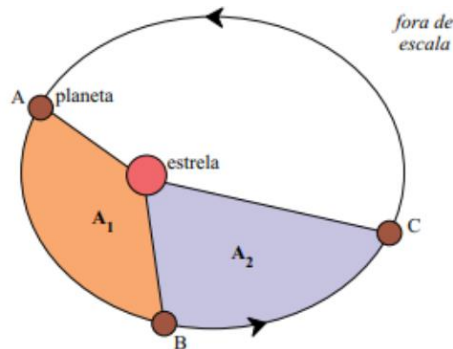
Está(ão) correta(s) apenas:

A) I. B) I e III. C) II e III. D) IV.

O objetivo 2 será avaliado pelas questões:

3. (UFTM-2013) Num determinado sistema planetário, um planeta descreve um movimento de translação ao redor de uma estrela, segundo a trajetória e o sentido

representados na figura. Sabe-se que o deslocamento entre os pontos A e B ocorre em quatro meses terrestres e que as áreas A_1 e A_2 são iguais



Considerando válidas as leis de Kepler para o movimento planetário e sabendo que o período de translação do planeta ao redor de sua estrela é igual a 20 meses terrestres, o intervalo de tempo para que ele percorra o trecho CA, em meses terrestres, é igual a

- A) 11. B) 12. C) 14. D) 10. E) 13

4. (UEA-2012) Em dezembro de 2011, astrônomos anunciaram ter encontrado dois planetas de tamanho muito próximo ao da Terra em órbita ao redor de Kepler-20, uma estrela similar ao Sol. Um deles, Kepler 20-f, demora aproximadamente 18 dias terrestres para dar uma volta completa em torno de sua estrela. O outro, Kepler 20-e, demora 6 dias terrestres para fazer o mesmo. (veja.abril.com.br. Adaptado.)



Sendo R_f o raio médio da órbita de Kepler 20-f em torno de sua estrela e R_e o raio médio da órbita de Kepler 20-e, a razão R_e/R_f é igual a

- A) $1/3$. B) $1/\sqrt{3}$. C) $1/\sqrt[3]{3}$.
D) $1/9$. E) $1/\sqrt[3]{9}$.

5. (FVG-SP-2015) Em seu livro O pequeno príncipe, Antoine de Saint-Exupéry imaginou haver vida em certo planeta ideal. Tal planeta teria dimensões curiosas e grandezas

gravitacionais inimagináveis na prática. Pesquisas científicas, entretanto, continuam sendo realizadas e não se descarta a possibilidade de haver mais planetas no sistema solar, além dos já conhecidos.

Imagine um hipotético planeta, distante do Sol 10 vezes mais longe do que a Terra se encontra desse astro, com massa 4 vezes maior que a terrestre e raio superficial igual à metade do raio da Terra. Considere a aceleração da gravidade na superfície da Terra expressa por g .

Esse planeta completaria uma volta em torno do Sol em um tempo, expresso em anos terrestres, mais próximo de

- A) 10. B) 14. C) 17.
D) 28. E) 32

6. (UDESC-2018) Analise as proposições com relação às Leis de Kepler sobre o movimento planetário.

- I. A velocidade de um planeta é maior no periélio.
- II. Os planetas movem-se em órbitas circulares, estando o Sol no centro da órbita.
- III. O período orbital de um planeta aumenta com o raio médio de sua órbita.
- IV. Os planetas movem-se em órbitas elípticas, estando o Sol em um dos focos.
- V. A velocidade de um planeta é maior no afélio.

Assinale a alternativa correta.

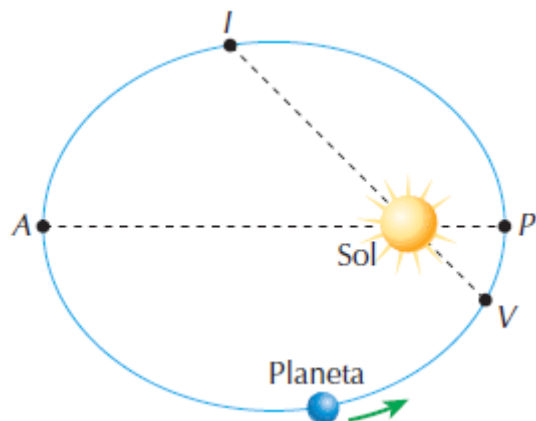
- A) Somente as afirmativas I, II e III são verdadeiras.
- B) Somente as afirmativas II, III e V são verdadeiras.
- C) Somente as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.
- D) Somente as afirmativas III, IV e V são verdadeiras.
- E) Somente as afirmativas I, III e V são verdadeiras

7. (Vunesp) A Terra descreve uma elipse em torno do Sol, cuja área é $A = 6,98 \cdot 10^{22} \text{ m}^2$.

- a) Qual é a área varrida pelo raio que liga a Terra ao Sol entre 0,0 h do dia 1º de abril até 24 h do dia 30 de maio do mesmo ano?
- b) Qual foi o princípio ou lei que você usou para efetuar o cálculo acima?

O objetivo 3 será avaliado pela questão:

8. (Unicamp-SP) A figura abaixo representa exageradamente a trajetória de um planeta em torno do Sol. O sentido do percurso é indicado pela seta.



O ponto V marca o início do verão no hemisfério Sul e o ponto I marca o início do inverno. O ponto P indica a maior aproximação do planeta ao Sol, o ponto A marca o maior afastamento. Os pontos V, I e o Sol são colineares, bem como os pontos P, A e o Sol.

- Em que ponto da trajetória a velocidade do planeta é máxima? Em que ponto essa velocidade é mínima? Justifique sua resposta.
- Segundo Kepler, a linha que liga o planeta ao Sol percorre áreas iguais em tempos iguais. Coloque em ordem crescente os tempos necessários para realizar os seguintes percursos: VPI, PIA, IAV, AVP.

4. Aula 3

Tema:

Satélites naturais e gravitação.

Conteúdos:

Satélites naturais do Sistema Solar; Lei da gravitação de Newton.

Objetivos:

Objetivo 1 – Listar luas do sistema solar e seus respectivos planetas;

Objetivo 2 – Resumir o que são satélites;

Objetivo 3 – Descrever a força gravitacional como uma força universal de atração que surge na interação de dois corpos quaisquer;

Objetivo 4 – Analisar as características orbitais que influenciam na ocorrência dos eclipses.

Procedimentos:

1º estágio: momento assíncrono

- Os estudantes serão orientados a ler os capítulos 4. *Satélites naturais* e 5. *Lei da gravitação universal* do livro.
- Atividade C: elaboração de um mapa mental sobre o tema.

2º estágio: momento síncrono

Etapa do feedback (duração estimada: 60 minutos):

Essa etapa contará com dois momentos. No primeiro, será escolhido um dos mapas mentais elaborado por um dos aprendizes com a finalidade de observar o desempenho - indicando os acertos e possíveis erros/equívocos de toda a turma. No segundo, será utilizado o simulador Solar System (<https://www.solarsystemscope.com/>) como mecanismo para apresentar as diferentes características dos satélites naturais do sistema solar e promovendo assim reforço das características do movimento orbital.

É importante que a participação dos estudantes seja estimulada durante todo esse estágio, de forma que eles se sintam à vontade para expressar a compreensão do conteúdo e de esclarecer possíveis dúvidas.

Transposição do conhecimento (duração estimada: 20 minutos)

Nesse momento busca-se relacionar o conteúdo estudado com as leis de Kepler, estabelecendo uma validade geral para as referidas leis; orientações de situações em que os estudantes poderão exercitar o conteúdo aprendido.

Considerações finais e encaminhamento para próxima aula (duração estimada: 10 minutos).

5. Aula 4

Tema:

Movimento dos satélites.

Conteúdos:

Lançamento de projéteis; energia mecânica de um satélite; forma da órbita descrita por um satélite e sua relação com a energia.

Objetivos:

Objetivo 1 – reconhecer a relação entre a velocidade inicial no lançamento horizontal de um projétil e a forma da trajetória descrita;

Objetivo 2 – interpretar a relação entre a forma da órbita de um satélite e a velocidade inicial de “lançamento” no espaço;

Objetivo 3 – analisar as mudanças na órbita de um satélite ocasionadas por impulsos que possam aumentar ou diminuir a energia mecânica do corpo.

Procedimentos:

1º estágio: momento assíncrono

- Os estudantes serão orientados a ler o capítulo 5. Movimento dos satélites do livro.

2º estágio: momento síncrono

Etapas do desempenho e do feedback (duração estimada: 60 minutos):

O instrumento utilizado para propiciar o desempenho nesta aula serão testes de múltipla escolha e de verdadeiro ou falso através da plataforma Kahoot, disponível no link: <https://create.kahoot.it/share/tranferencia-de-orbita/4a6a59ec-190d-46c7-857f-e0ddb4b51054> . Concomitante ao desenvolvimento da etapa do desempenho, será desenvolvida a etapa do feedback. O procedimento adotado será o de realizar debates após as respostas apresentadas a cada problema do Kahoot, observando e avaliando os acertos e erros apresentados pela turma.

É importante que a participação dos estudantes seja estimulada durante todo esse estágio, de forma que eles se sintam à vontade para expressar a compreensão do conteúdo e de esclarecer possíveis dúvidas.

Transposição do conhecimento (duração estimada: 20 minutos)

Nessa etapa busca-se relacionar o conteúdo com situação reais do lançamento de satélites e de naves espaciais, assim como estabelecer a ponte para o próximo tópico do livro (foguetes e naves espaciais).

Considerações finais e encaminhamento para próxima aula (duração estimada: 10 minutos)

Material proposto:

Kahoot: <https://create.kahoot.it/share/tranferencia-de-orbita/4a6a59ec-190d-46c7-857f-e0ddb4b51054>

6. Aula 5

Tema:

Corrida espacial.

Conteúdos:

Marcos da corrida espacial.

Objetivos:

Objetivo 1 - Reconhecer marcos da corrida espacial;

Objetivo 2 - Resumir os papéis das missões espaciais Mercury, Gemini e Apollo;

Objetivo 3 - Diferenciar os voos orbital e suborbital.

Procedimentos:

1º estágio: momento assíncrono

- Os estudantes serão orientados a ler o capítulo 6. Corrida espacial.

2º estágio: momento síncrono

Etapas do desempenho e do feedback (tempo estimado: 60 minutos)

O instrumento utilizado para propiciar o desempenho nessa aula serão testes de múltipla escolha e de verdadeiro ou falso através da plataforma Kahoot, disponível no link: <https://create.kahoot.it/share/corrida-espacial/5ce05ac6-58b9-4b0a-8ca4-fb1167c4cfe0> . Concomitante ao desenvolvimento da etapa do desempenho, será desenvolvida a etapa do feedback. O procedimento adotado será o de realizar debates após as respostas apresentadas a cada problema do Kahoot.

É importante que a participação dos estudantes seja estimulada durante todo esse estágio, de forma que eles se sintam à vontade para expressar a compreensão do conteúdo e de esclarecer possíveis dúvidas.

Transposição do conhecimento (duração estimada: 20 minutos)

Nesse momento, será discutido os eventos que caracterizam a “nova corrida espacial”, buscando comparar com os eventos que delinearam a corrida espacial.

Considerações finais e encaminhamento para próxima aula (duração estimada: 10 minutos)

Material proposto:

Kahoot: <https://create.kahoot.it/share/corrida-espacial/5ce05ac6-58b9-4b0a-8ca4-fb1167c4cfe0>

7. Aula 6

Tema:

Satélites artificiais.

Conteúdos:

Satélites: características orbitais e missões.

Objetivos:

Objetivo 1 – Listar e descrever os elementos que moldam a órbita dos satélites artificiais;

Objetivo 2 – Entender a utilização dos satélites de sensoriamento remoto e possíveis benefícios para preservação do meio ambiente;

Objetivo 3 – Julgar a possibilidade de haver satélites geoestacionários em órbitas polares ou com trajetória elíptica;

Objetivo 4 – Identificar categorias de satélites que melhor possam servir aos interesses nacionais, assim como os benefícios por ele gerado, e projetar a forma da trajetória que melhor se enquadra para esse tipo de satélite.

Procedimentos:

1º estágio: momento assíncrono

- Os estudantes serão orientados a lerem o capítulo 8. *Satélites e suas aplicações*;
- Atividade D: responder ao questionário de perguntas abertas.

2º estágio: momento síncrono

Etapa do feedback (60 minutos)

A estratégia adotada nessa etapa será a promoção de discussões sobre as missões dos satélites abordados no livro, de forma que o feedback seja realizado através de intervenções do professor nas pautas das discussões. Essa ação deve ser guiada através de pautas que permitam discutir os conhecimentos referente aos objetivos de aprendizagem estabelecidos. Segue sugestões de pautas para as discussões:

Qual o significado da excentricidade, altura, inclinação de uma órbita? O que significa órbita polar, órbita equatorial e órbita inclinada?

Com a finalidade de relacionar, nas próximas pautas, a altura da órbita com as missões espaciais dos satélites, deve-se discutir a relação entre o período no movimento orbital de um satélite com a sua altura.

Quais as características orbitais, finalidades, impactos sociais, científicos e ambientais dos satélites: Plataformas espaciais; Satélite Hubble; Satélites de sensoriamento remoto (Terra, Aqua e CBERS-4); sistemas de navegação (GPS, entre outros); satélites geoestacionários (SGDC).

Informações de noticiários e publicações em redes sociais.

Transposição do conhecimento (duração estimada: 20 minutos)

Análise das missões de outros satélites não apresentados pelo texto do livro, como: Telescópio espacial Kepler; Sonda espacial Juno; Micro e Nano satélites.

Considerações finais e encaminhamento para próxima aula (duração estimada: 10 minutos)

Material proposto:

Atividade D

O objetivo 1 será avaliado pela questão:

1. Quais são os elementos que moldam a órbita de um satélite? Descreva cada um desses elementos.

O objetivo 2 será avaliado pela questão:

2. A atividade de sensoriamento remoto é caracterizada pela captação de informações onde não há contato direto entre o observador e a região observada. No espaço, há muitos satélites que exercem essa atividade e coletam informações sobre a Terra regularmente. Explique a importância dessa atividade.

O objetivo 3 será avaliado pela questão:

3. Um satélite que se move numa órbita geoestacionária aparenta estar parado para um observador na Terra. Essa característica é altamente valiosa. Responda: a) é possível

colocar um satélite geoestacionário acima do Polo Norte? Justifique. b) a órbita de um satélite geoestacionário pode ser elíptica?

O objetivo 4 será avaliado pela questão:

Atualmente os satélites são utilizados tanto por empresas privadas como pelos governos de vários países. Por exemplo, a SpaceX conta atualmente com mais de 400 satélites no espaço com a finalidade de comercializar internet de alta velocidade para o planeta; o governo chinês trabalha para finalizar o seu próprio sistema de posicionamento global (similar ao GPS). Qual tipo de satélite você avalia que pode melhor servir ao Brasil? Quais seriam os benefícios desse satélite para o país? Você consegue avaliar como seria a órbita desse satélite (se sim, descreva como seria)?

Referências

BORGES, Tatiane Daby de Fátima Faria et al. **TEORIA DA INSTRUÇÃO DE GAGNÉ E O ENSINO DA MATEMÁTICA**. Cadernos da FUCAMP, v. 19, n. 40, 2020.

CAVALCANTI, Marcello Henrique da Silva; RIBEIRO, Matheus Marques; BARRO, Mario Roberto. **Planejamento de uma sequência didática sobre energia elétrica na perspectiva CTS**. Ciência & Educação (Bauru), v. 24, p. 859-874, 2018

DE ARAÚJO, Denise Lino. **O que é (e como faz) sequência didática?**. Entre palavras, v. 3, n. 1, p. 322-334, 2013.

DOS SANTOS, Cícero E. JR.; ALVES, T. M. L.; BORGES, J. C. **Satélites: o que são? como se movimentam? quais suas finalidades?** IFRN. 2022. Disponível em: < https://drive.google.com/file/d/1Om8I3rqpFy8AiSOYfg8HuqcFeh5vE1P1/view?usp=share_link >

FERRAZ, Ana Paula do Carmo Marcheti; BELHOT, Renato Vairo. **Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais**. Gestão & produção, v. 17, p. 421-431, 2010.

KRATHWOHL, David R. **A revision of Bloom's taxonomy: An overview**. Theory into practice, v. 41, n. 4, p. 212-218, 2002.

MIQUELIN, Awdry Feisser; FERRASA, Ingrid Aline De Carvalho. **Os “Três Momentos Pedagógicos” e as “Oito fases de Ensino”: um estudo sobre o planejamento no Ensino de Ciências**.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora pedagógica e universitária, 1999.

PEREIRA, Djalma Gonçalves; DO NASCIMENTO MOREIRA, Sandra Maria. **A teoria da aprendizagem de processamento da informação de Robert Gagné: exposição e crítica**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 9, p. 72270-72281, 2020.

SILVA, Vailton Afonso da; MARTINS, Maria Inês. **Análise de questões de Física do Enem pela taxonomia de Bloom revisada**. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 16, p. 189-202, 2014.

VALENTE, José Armando. **Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida**. Educar em revista, p. 79-97, 2014.

VASCONCELOS, Clara; PRAIA, João Félix; ALMEIDA, Leandro S. **Teorias de aprendizagem e o ensino/aprendizagem das ciências: da instrução à aprendizagem**. Psicologia escolar e educacional, v. 7, p. 11-19, 2003.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. trad. Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

ZERBINI, Thaís; ABBAD, Gardênia. **Aprendizagem induzida pela instrução em contexto de organizações e trabalho: uma análise crítica da literatura**. Cadernos de Psicologia Social do Trabalho, v. 13, n. 2, p. 177-193, 2010.