

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
DEPARTAMENTO DE ASTRONOMIA

BRUNA ALVES

**UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DO MOVIMENTO CIRCULAR E UNIFORME A  
PARTIR DO MOVIMENTO APARENTE DAS ESTRELAS**

São Paulo

2024

BRUNA ALVES

**UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DO MOVIMENTO CIRCULAR E UNIFORME A  
PARTIR DO MOVIMENTO APARENTE DAS ESTRELAS**

Versão Corrigida. O original encontra-se disponível na Unidade.

Dissertação apresentada ao Departamento de  
Astronomia do Instituto de Astronomia,  
Geofísica e Ciências Atmosféricas da  
Universidade de São Paulo, como requisito  
para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Ensino de Astronomia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elysandra Figueredo  
Cypriano.

São Paulo

2024

**ALVES, B. Uma proposta para o ensino do movimento circular e uniforme a partir do movimento aparente das estrelas.** 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia) – Departamento de Astronomia, Instituto de Astronomia, Geociências e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

BRUNA ALVES

**UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DO MOVIMENTO CIRCULAR E UNIFORME A  
PARTIR DO MOVIMENTO APARENTE DAS ESTRELAS**

Dissertação apresentada ao Departamento de  
Astronomia do Instituto de Astronomia,  
Geofísica e Ciências Atmosféricas da  
Universidade de São Paulo, como requisito  
para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovada em: 07/10/2024

BANCA EXAMIDORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dra<sup>a</sup>. Elysandra Figueiredo Cypriano  
Universidade de São Paulo

---

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Enos Picazzio  
Universidade de São Paulo

---

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup> André Machado Rodrigues  
Universidade de São Paulo

---

Prof<sup>a</sup>. Dra<sup>a</sup> Tassiana Fernanda Genzini de Carvalho  
Universidade Federal de Pernambuco

*Às minhas filhas, Isabela e Manuela.*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar os agradecimentos por elas, minhas filhas Isabela e Manuela, que não só foram o combustível para que eu terminasse este trabalho, como também a ignição para que eu olhasse o mundo e percebesse que elas precisavam ter uma referência feminina neste lugar, de mestra, para que elas soubessem que é possível.

Agradeço à minha mãe, Maria Dagmar de Lima Alves, que sempre me incentivou aos estudos e dedicou sua vida inteira a nós, suas três filhas, sempre enfatizando que “suas filhas seriam estudadas e, por isso, seriam livres”.

Ainda, agradeço ao meu pai, Wagner Alves, por me proporcionar escolher fazer na vida o que me deixasse feliz, bem como viabilizar, diante de muito esforço e trabalho, todo o meu percurso acadêmico.

Também, agradeço ao Arthur, a pessoa com quem eu escolhi dividir a vida, por ser uma inspiração para mim como educador e pesquisador – obrigada por caminhar comigo durante este processo e por ter papel fundamental na viabilização desta pesquisa.

Direciono minha imensa gratidão a toda a rede de apoio que é a minha família, que se dedicou todos os dias a cuidar da minha casa, das minhas filhas e de nós, e sem a qual nada disto teria sido possível: Regina, Mauro, Dagmar, Wagner, Fê e Arthur, muito obrigada.

Além disso, dirijo minha gratidão aos meus queridos Leonardo, Vinicius, Matheus, Cristiane, Bárbara e Renato, por fazerem parte desta etapa e também servirem de inspiração para mim.

Um agradecimento especial à Fernanda, minha irmã, que exerceu papel fundamental no apoio deste projeto – e em tantas outras ocasiões –, incluindo na transcrição das aulas que serviram como base para este trabalho.

Eu me sinto grata também pelas minhas amigas e pelos meus amigos do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IF-USP) e do Handbohr, que tiveram papel tão importante ao longo da minha graduação e possibilitaram uma permanência estudantil saudável e feliz para mim, os quais estão ao meu lado até hoje – em especial: Pamela, Lillian, Frederico, Hyana e Jesus (Felipe), muito obrigada.

Agradeço também ao Colégio São Domingos, por incentivar e apoiar este trabalho, contribuindo não só para a realização desta pesquisa, mas sendo também um grande incentivador da minha carreira acadêmica. Igualmente, agradeço aos professores do ensino médio da instituição, meus colegas, que me apoiaram no cotidiano e promoveram dias mais leves – em especial, agradeço ao meu coordenador Daniel e meu amigo Tiago.

Sou grata à Alaíde Souza, uma amiga pessoal e de trabalho, que sempre me incentivou e é uma inspiração para mim – uma vez que é uma das pessoas mais inteligentes que já conheci –, além de permitir que eu pudesse viver este processo de forma feliz e confiante – obrigada demais, Bilu.

Minha gratidão também está dirigida aos alunos incríveis do Colégio São Domingos, que, com muito comprometimento e dedicação, participaram desta pesquisa, colaborando e enriquecendo o projeto a partir dos dados coletados e analisados ao longo deste trabalho – vocês sempre estarão no meu coração.

Por fim, agradeço à minha orientadora, a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elysandra Figueredo Cypriano – a Lys –, que sempre foi a minha referência acadêmica – desde a minha graduação – e me acompanhou durante todo o processo de constituição deste trabalho com muito carinho e empatia. Ela é um grande exemplo de mulher forte, que corre atrás do que quer, está envolvida com a educação de um jeito incrível e representa uma pesquisadora de respeito – obrigada, Lys, por acreditar em mim e no meu trabalho.

*“Eu não tenho nenhum vestido além do que uso todo dia. Se você for gentil o suficiente para me presentear com um, só peço que seja prático e escuro para que eu possa vesti-lo, e logo em seguida, ir para o laboratório.”*

*– Marie Curie*

## RESUMO

Este trabalho apresenta o produto educacional, em uma sequência didática, para o ensino do movimento circular e uniforme (MCU), explorando a astronomia como objeto central dos estudos e tendo como objetivo principal a aplicação de um experimento durante o qual o movimento aparente das estrelas em torno do polo sul celeste (PSC) será analisado a fim de calcular a velocidade de rotação da Terra. Tal análise foi realizada a partir de dois métodos diferentes de coleta de dados: **(i)** no primeiro, com auxílio do simulador “Stellarium”; e **(ii)** no segundo, a partir da observação dos rastros das estrelas em uma fotografia do céu em longa exposição. As aulas que serviram como base para este trabalho são compostas no ambiente escolar, com alguns momentos presenciais e outros on-line, e têm como foco garantir que os estudantes vivenciem um processo de ensino contextualizado. Além disso, as aulas também valorizam a autonomia dos estudantes nos processos de ensino e aprendizagem, visto que, segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) – documentos que servem de referência para a construção do currículo do ensino de física nas escolas –, o ensino de física tem como papel específico a construção de um estudante autônomo e atuante, o qual deve ser capaz de investigar e compreender fenômenos presentes no cotidiano. Os PCN e a BNCC também trazem a investigação como um pilar estruturante do ensino de física, priorizando o entendimento dos fenômenos naturais por meio de modelos, com a intencionalidade de fazer previsões. O produto educacional anexo a este trabalho foi aplicado em aula para alunos de duas turmas do 1º ano do ensino médio (EM) de uma escola da rede particular de ensino com a proposta de verificar se, após aplicação de tal produto – que priorizou o ensino de astronomia vinculada à vivência de uma atividade prática que priorizava a metodologia científica –, os estudantes concretizaram os conceitos que envolvem o MCU de forma efetiva e conseguiram relacioná-los a outros movimentos circulares presentes em seu cotidiano. Os resultados revelaram que o uso da astronomia como objeto central dos estudos se mostra importante, pois tal abordagem potencializou o aumento do interesse dos alunos, além de amplificar sua percepção quanto aos movimentos do cotidiano ao se contextualizar os conceitos físicos e mediar o conhecimento. O uso da metodologia científica em uma atividade experimental colaborou para a construção de um processo autônomo de aprendizagem e concretização dos conceitos físicos estudados. Após a

aplicação do produto educacional, os resultados evidenciaram que os conceitos físicos estudados estavam bem consolidados quando permitiram que os estudantes associassem o conteúdo assimilado a situações do cotidiano que manifestavam as mesmas características do MCU estudado dentro da sequência didática.

**Palavras-chave:** Ensino de Astronomia. Movimento Circular e Uniforme. Movimento Aparente das Estrelas. Experimento de Astronomia. Ensino de Física.

## ABSTRACT

This work presents the educational product, in a didactic sequence, for teaching circular and uniform motion (MCU), exploring astronomy as a central object of studies and having as its main objective the application of an experiment during which the apparent movement of the stars around the south celestial pole (PSC) will be analyzed in order to calculate the Earth's rotation speed. Such analysis will be carried out using two different data collection methods: (i) in the first, with the aid of the “Stellarium” simulator; and (ii) in the second, from the observation of star trails in a long exposure photograph of the sky. The classes that served as the basis for this work are composed in the school environment, with some face-to-face and others online, and are focused on ensuring that students experience a contextualized teaching process. Furthermore, the classes also value students' autonomy in the teaching and learning processes, since, according to the National Curricular Parameters (PCN) and the National Common Curricular Base (BNCC) - documents that serve as a reference for the construction of the curriculum physics teaching in schools – the specific role of physics teaching is the construction of an autonomous and active student, who must be able to investigate and understand phenomena present in everyday life. The PCN and BNCC also bring research as a structuring pillar of physics teaching, prioritizing the understanding of natural phenomena through models, with the intention of making predictions. The educational product attached to this work was applied in class to students from two classes of the 1st year of high school (EM) at a private school with the aim of verifying whether, after applying such a product – which prioritized teaching of astronomy linked to the experience of a practical activity that prioritized scientific methodology – the students implemented the concepts that involve the MCU effectively and were able to relate them to other circular movements present in their daily lives. The results revealed that the use of astronomy as a central object of studies is important, as this approach increased students' interest, in addition to amplifying their perception of everyday movements by contextualizing physical concepts and mediating knowledge. The use of scientific methodology in an experimental activity contributed to the construction of an autonomous process of learning and implementing the physical concepts studied. After applying the educational product, the results showed that the physical concepts studied were well consolidated when they allowed students to associate the assimilated content with everyday situations

that manifested the same characteristics of the MCU studied within the didactic sequence.

**Keywords:** Astronomy Education. Uniform Circular Motion. Apparent Motion of Stars. Astronomy Experiment. Physics Education.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Fotografia do céu noturno da cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, realizada em longa exposição pelo fotógrafo Vinícius Januário. ....31
- Figura 2** – Fotografia do céu noturno da cidade de Itu, São Paulo, capturada no dia 13 de março de 2020, com tempo de exposição igual a 1.043,2 segundos, realizada em uma atividade de observação com os alunos do 1º ano do ensino médio do Colégio São Domingos.....34
- Figura 3** – Representação da trajetória de um corpo que realiza movimento circular e uniforme. ....38
- Figura 4** – Impressão da captura de tela de uma região do céu observada a partir do simulador “Stellarium”, considerando a marcação das posições da mesma estrela em um intervalo de tempo.....43
- Figura 5** – Representação do uso do transferidor para medir a variação da posição angular do movimento aparente de uma estrela em um intervalo de tempo de 4 horas de observação com apoio do simulador “Stellarium” .....44
- Figura 6** – Captura de tela do simulador da esfera celeste, mostrando a trajetória aparente de estrelas em torno do polo sul celeste. ....73
- Figura 7** – Respostas dos estudantes indicando exemplos em que se observa movimento circular e suas respectivas recorrências. ....89

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Competências específicas do bloco “Ciências da Natureza e suas tecnologias” de acordo com a Base Nacional Comum Curricular. ....	20
<b>Quadro 2</b> – Habilidades específicas da Competência 2 do bloco “Ciências da Natureza e suas tecnologias” na Base Nacional Comum Curricular. ....	20
<b>Quadro 3</b> – Aulas que compõem a sequência didática com seus respectivos temas e duração. ....	35
<b>Quadro 4</b> – Comparação entre as respostas das Questões 1 e 3.....	56
<b>Quadro 5</b> – Comparação entre as respostas para a mesma questão antes e depois das aulas sobre movimento circular e uniforme. ....	75
<b>Quadro 6</b> – Comparação entre os valores de velocidade angular da Terra calculados no âmbito do experimento “Fotografando Estrelas” a partir de dois métodos diferentes. ....	85
<b>Quadro 7</b> – Comparação entre os valores de velocidade escalar da Terra calculados no âmbito do experimento “Fotografando Estrelas” a partir de dois métodos diferentes. ....	85

## LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1** – Número de estudantes que acertaram os conceitos de “frequência” e “período” .....65
- Gráfico 2** – Distribuição da preferência dos alunos pelos métodos utilizados no experimento “Fotografando Estrelas”, isto é, uso da foto do céu em longa exposição e do simulador “Stellarium” .....84
- Gráfico 3** – Distribuição das respostas para a terceira questão do formulário on-line da sexta aula (Anexo 8). .....91

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

“A1”, “A2”, “A3”, “A4”, “A5”, “A6”, “A7”, “A8”, “A9”, “A10”, “A11”, “A12”, “A13”, “A14”, “A15”, “A16”, “A17” e “A18”	significam os alunos que participaram da sequência didática aplicada para condução do experimento objeto deste trabalho.
“BNCC”	significa “Base Nacional Comum Curricular”.
“EM”	significa “ensino médio”.
“MCU”	significa “Movimento Circular e Uniforme”.
“P”	significa a professora aplicadora da sequência didática aplicada para condução do experimento objeto deste trabalho.
“PCN” ou “PCN+”	significam “Parâmetros Curriculares Nacionais”
“PSC”	significa “polo sul celeste”
“SD”	significa a sequência didática aplicada para condução do experimento objeto deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	18
1.1	UM PANORAMA DO ENSINO DE FÍSICA POR MEIO DOS PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS E DA BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR ...	18
1.2	ASTRONOMIA COMO UM TEMA CONTEXTUALIZADOR PARA O ENSINO DE FÍSICA.....	21
1.3	A EXPERIMENTAÇÃO COMO UM FACILITADOR NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM.....	23
1.4	UM BREVE LEVANTAMENTO SOBRE O USO DE EXPERIMENTOS PARA O ENSINO DO MOVIMENTO CIRCULAR E UNIFORME NO ENSINO MÉDIO .....	24
1.5	EXPERIMENTOS E SIMULADORES NO ENSINO DE ASTRONOMIA.....	26
1.6	OBJETIVO GERAL.....	29
<b>2</b>	<b>PRODUTO EDUCACIONAL</b>	30
2.1	PROJETO PILOTO.....	31
2.2	SEQUÊNCIA DIDÁTICA DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	35
2.2.1	<b>Aula 1 – Introdução ao MCU: Período e Frequência</b> .....	36
2.2.2	<b>Aula 2 – MCU</b> .....	37
2.2.3	<b>Aula 3 – Transmissão de MCU</b> .....	39
2.2.4	<b>Aula 4 – Atividade Prática “Fotografando Estrelas – Parte 1”</b> .....	41
2.2.5	<b>Aula 5 – Atividade Prática “Fotografando Estrelas – Parte 2”</b> .....	44
2.2.6	<b>Aula 6 – Finalização da Atividade Prática “Fotografando Estrelas”</b> .	45
<b>3</b>	<b>APLICAÇÃO E RESULTADOS</b>	47
3.1	UMA INTRODUÇÃO À COMUNIDADE ESCOLAR.....	47
3.2	MUDANÇAS E ADAPTAÇÕES NA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O MODELO DE ENSINO À DISTÂNCIA.....	50
3.3	APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E OBSERVAÇÃO DOS RESULTADOS.....	53
3.3.1	<b>Aula 1 – Introdução ao MCU: Período e Frequência</b> .....	58
3.3.2	<b>Aula 2 – MCU</b> .....	67
3.3.3	<b>Aula 3 – Transmissão de MCU</b> .....	70
3.3.4	<b>Aula 4 – Atividade Prática “Fotografando Estrelas – Parte 1”</b> .....	77
3.3.5	<b>Aula 5 – Atividade Prática “Fotografando Estrelas – Parte 2”</b> .....	80
3.3.6	<b>Aula 6 – Finalização da Atividade Prática “Fotografando Estrelas”</b> .	83
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	93
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	98
	<b>APÊNDICE 1</b> .....	101

<b>APÊNDICE 2</b> .....	102
<b>APÊNDICE 3</b> .....	103
<b>APÊNDICE 4</b> .....	104
<b>APÊNDICE 5</b> .....	105
<b>APÊNDICE 6</b> .....	106
<b>APÊNDICE 7</b> .....	107
<b>APÊNDICE 8</b> .....	108
<b>APÊNDICE 9</b> .....	109
<b>APÊNDICE 10</b> .....	110

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 UM PANORAMA DO ENSINO DE FÍSICA POR MEIO DOS PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS E DA BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR

Para melhor entender o papel do ensino de física no Brasil, serão levantadas informações contidas nas diretrizes curriculares presentes nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), os quais consistem em um projeto governamental de reforma curricular publicado em 1997 e 1998, bem como na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que é uma referência obrigatória para as escolas públicas e privadas elaborarem seus currículos e propostas pedagógicas (Brasil, [2000?], 2018). Pode-se afirmar que a física tem papel específico na construção do conhecimento para formar um estudante autônomo e atuante, que deve ser capaz de investigar e compreender fenômenos presentes no cotidiano e ter a possibilidade de atuar significativamente no seu contexto social. De acordo com os PCN:

Sendo o Ensino Médio um momento particular do desenvolvimento cognitivo dos jovens, o aprendizado de Física tem características específicas que podem favorecer uma construção rica em abstrações e generalizações, tanto de sentido prático como conceitual. Levando-se em conta o momento de transformações em que vivemos, promover a autonomia para aprender deve ser preocupação central, já que o saber de futuras profissões pode ainda estar em gestação, devendo buscar-se competências que possibilitem a independência de ação e aprendizagem futura (Brasil, [2000?], p. 23-24).

Ainda nesses documentos, o ensino de física tem como pilar estruturante a investigação, priorizando, assim, o entendimento dos fenômenos naturais por meio de modelos, com a intencionalidade de fazer previsões. A BNCC (Brasil, 2018) aborda as disciplinas por blocos de conhecimento, sendo a física uma das disciplinas que compõem o bloco “Ciências da Natureza e suas tecnologias”. A BNCC diz o seguinte sobre o ensino das ciências da natureza no ensino médio (EM):

Trata a investigação como forma de engajamento dos estudantes na aprendizagem de processos, práticas e procedimentos científicos e tecnológicos, e promove o domínio de linguagens específicas, o que permite aos estudantes analisar fenômenos e processos, utilizando modelos e fazendo previsões. Dessa maneira, possibilita aos estudantes ampliar sua compreensão sobre a vida, o nosso planeta e o universo, bem como sua capacidade de refletir, argumentar, propor soluções e enfrentar desafios pessoais e coletivos, locais e globais (Brasil, 2018, p. 472).

A respeito das competências e habilidades que a física pode possibilitar aos estudantes na sua formação básica, a investigação dos fenômenos estudados pela física corresponde a um de seus eixos estruturantes, visto que estimula os alunos no

sentido de auxiliá-los a lidar com o mundo que os envolve. Nos PCN, tem-se o seguinte:

A Física tem uma maneira própria de lidar com o mundo, que se expressa não só através da forma como representa, descreve e escreve o real, mas sobretudo na busca de regularidades, na conceituação e quantificação das grandezas, na investigação dos fenômenos, no tipo de síntese que promove. Aprender essa maneira de lidar com o mundo envolve competências e habilidades específicas relacionadas à compreensão e investigação em Física (Brasil, [2000?], p. 24).

Os PCN+ dizem respeito a um documento complementar aos PCN publicados em 2000, os quais foram publicados, por sua vez, em 2015 (Brasil, [2000?], [2002?]). Os PCN+ estabelecem competências para a disciplina de física ao longo do EM, destacando-se, entre elas, aquelas que dão suporte à formação do estudante no âmbito da investigação para compreensão dos fenômenos naturais que o cercam e possibilitam a aquisição de habilidades para o enfrentamento de situações problema, quais sejam (Brasil, 2015):

- interpretar e fazer uso de modelos explicativos, reconhecendo suas condições de aplicação;
- elaborar modelos simplificados de determinadas situações, a partir dos quais seja possível levantar hipóteses e fazer previsões;
- construir uma visão sistematizada dos diversos tipos de interação e das diferentes naturezas de fenômenos naturais para poder fazer uso desse conhecimento de forma integrada e articulada; e
- identificar e compreender os diversos níveis de explicação física, microscópicos ou macroscópicos, utilizando-os apropriadamente na compreensão de fenômenos naturais e reconhecer, na análise de um mesmo fenômeno, as características de cada ciência, de maneira a adquirir uma visão mais articulada dos fenômenos naturais.

Para a BNCC, tem-se uma confluência de competências e habilidades para o ensino de física no que concerne à análise e interpretação de fenômenos naturais como papel fundamental e estruturante na formação dos estudantes (Brasil, 2018). No caso do EM, a BNCC estabelece três competências específicas para o bloco “Ciências da Natureza e suas tecnologias”, as quais estão descritas no Quadro 1 a seguir.

**Quadro 1** – Competências específicas do bloco “Ciências da Natureza e suas tecnologias” de acordo com a Base Nacional Comum Curricular.

Competência Específica	Descrição
1	“Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.”
2	“Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.”
3	“Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).”

Fonte: Adaptada de Brasil (2018).

Dentro das competências específicas apresentadas no Quadro 1, enfatiza-se que duas delas compõem a Competência 2 – e estão apresentadas no Quadro 2 adiante – por possuírem maior aproximação com a formação dos estudantes voltada para a investigação e análise dos fenômenos naturais a partir da utilização de procedimentos e linguagem das ciências da natureza.

**Quadro 2** – Habilidades específicas da Competência 2 do bloco “Ciências da Natureza e suas tecnologias” na Base Nacional Comum Curricular.

Habilidade	Descrição
EM13CNT204	“Elaborar explicações e previsões a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais.”
EM13CNT205	“Utilizar noções de probabilidade e incerteza para interpretar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, reconhecendo os limites explicativos das ciências.”

Fonte: Adaptada de Brasil (2018).

Observando as competências e habilidades levantadas anteriormente no âmbito dos Quadros 1 e 2, faz-se preciso pensar em caminhos que possibilitem o professor concretizá-las, por isso a escolha da metodologia de ensino deve ser abordada neste trabalho. Para isso, é importante conceituar o conhecimento científico

e a metodologia científica. Quanto ao conhecimento científico, Marconi e Lakatos dizem que:

Constitui um conhecimento contingente, pois suas proposições ou hipóteses têm sua veracidade ou falsidade conhecida através da experiência e não apenas pela razão, como ocorre no conhecimento filosófico. É sistemático, já que se trata de um saber ordenado logicamente, formando um sistema de ideias (teoria) e não conhecimentos dispersos e desconexos. Possui a característica de verificabilidade, a tal ponto que as afirmações (hipóteses) que não podem ser comprovadas não pertencem ao âmbito da ciência. Constitui-se em conhecimento falível, em virtude de não ser definitivo, absoluto ou final, e por este motivo, é aproximadamente exato: novas proposições e o desenvolvimento de técnicas podem reformular o acervo de teoria existente (Marconi; Lakatos, 2003, p. 80).

A metodologia científica, segundo Severino (2014), é verificada por meio da aplicação de atividades de caráter operacional técnico que se desenvolve a partir de procedimentos de observação, experimentação, coleta e análise de dados, tendo como base um cuidadoso plano que estabelece, dessa forma, um processo metodológico.

A BNCC apresenta a importância do uso da metodologia científica para a formação do estudante quando estabelece para a Competência 3 que “espera-se que os estudantes possam se apropriar de procedimentos de coleta e análise de dados mais aprimorados, como também se tornar mais autônomos no uso da linguagem científica” (Brasil, 2018, p. 544). Para isso, uma das habilidades específicas dentro da referida competência é a EM13CNT301, que é descrita do seguinte modo:

Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica (Brasil, 2018, p. 545).

Diante do panorama apresentado, pode-se concluir que o ensino de física pautado na investigação, interpretação e análise dos fenômenos naturais tem, dentro dos documentos que devem ser levados em conta para pensar uma metodologia de ensino que alcance essas habilidades e competências.

## 1.2 ASTRONOMIA COMO UM TEMA CONTEXTUALIZADOR PARA O ENSINO DE FÍSICA

A educação contextualizada, de acordo com Santiago (2011), é uma educação que “prioriza as questões da vida dos sujeitos, as problemáticas e as potencialidades do contexto local”, consistindo num “modelo educacional que defende um currículo

escolar no qual o estudante se reconheça e procure compreender o seu próprio ambiente”. Segundo Schmitt (2005), para se alcançar uma educação contextualizada, é importante motivar os alunos, uma vez que um aluno motivado se encontra em uma posição mais propícia ao aprendizado, procurando satisfazer as suas necessidades dirigidas para uma determinada finalidade.

Nesse sentido, o papel do professor é fundamental para a construção dessa contextualização com amparo de suas práticas de ensino, nas quais o objetivo não pode ser somente uma transmissão de conhecimento mas também ser o provedor de uma relação emocional e de valores que motiva e conscientiza o aluno dentro do seu meio social. Nas palavras de Schmitt:

Quando o aluno percebe que os conteúdos a serem aprendidos têm alguma ligação com os fatos que este presencia intelectualmente, desenvolve um potencial maior para a aprendizagem, uma vez que esses novos conhecimentos passam a “fazer sentido” para esse aluno (Schmitt, 2005, p. 61).

O ensino de física se apresenta como um processo desafiador tanto para os professores como para os alunos, uma vez que existe uma busca constante por parte dos professores em como facilitar esse processo de ensino e aprendizagem, sendo uma necessidade dos alunos a busca por referências cotidianas que concretizem os conceitos físicos vistos na escola.

Diante disso, é possível pensar no estudo da astronomia como um potente objeto de estudos para abordar fenômenos físicos, pois fornece elementos que favorecem a aproximação entre os conceitos físicos e a realidade dos alunos, evitando que estes calculem grandezas físicas sem sentido para eles, ou seja, memorizar e utilizar fórmulas para calcular fenômenos naturais que eles não sabem exatamente o que são ou para o que servem. Os referidos processos educacionais devem aproximar os conceitos da física da realidade do aluno.

Sobre os processos de ensino e aprendizagem realmente efetivos dentro das práticas de ensino, Schmitt (2005) aponta que, para a construção de um currículo que possa ser aplicado e concretizado dentro do contexto escolar, a formação continuada de professores e uma boa estrutura de materiais pedagógicos que façam com que a abordagem dos conteúdos estimule a aprendizagem são fatores importantes para efetividade de tais processos. Olhando-se diretamente para a formação de professores, constata-se que muitos trabalhos que abordam o ensino de astronomia

na educação básica denotam preocupação com a falta de formação dos professores para abordar esses temas, propiciando que os alunos tenham uma formação rasa ou apresentem até mesmo muitas lacunas em sua educação, tanto gerais quanto específicas, que podem acompanhá-los durante toda a sua trajetória escolar.

Diante do cenário exposto, destaca-se a importância de se ter materiais educacionais que orientem e apoiem o professor na utilização da astronomia como tema para contextualização do ensino de física, auxiliando, dessa maneira, na criação de conexões entre essas áreas do conhecimento e corroborando, ainda, com a formação do professor para o ensino de astronomia.

### 1.3 A EXPERIMENTAÇÃO COMO UM FACILITADOR NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM

A experimentação é, muitas vezes, pensada pelos professores como uma estratégia para aproximar os conceitos físicos do cotidiano dos alunos, seja por meio de práticas realizadas por eles ou por demonstrações experimentais realizadas pelo professor em aula. No entanto, segundo Batista, Fusinato e Blini (2009), existem outras possibilidades para o uso da experimentação, a qual não se resume somente ao desenvolvimento desses conceitos, sendo o papel dela muito mais amplo e complexo, a saber:

[...] a experimentação no ensino de Física não resume todo o processo investigativo no qual o aluno está envolvido na formação e desenvolvimento de conceitos científicos. Há de se considerar também que o processo de aprendizagem dos conhecimentos científicos é bastante complexo e envolve múltiplas dimensões, exigindo que o trabalho investigativo do aluno assuma várias formas que possibilitem o desencadeamento de distintas ações cognitivas, tais como: manipulação de materiais, questionamento, direito ao tateamento e ao erro, observação, expressão e comunicação, verificação das hipóteses levantadas. Podemos dizer que esse também é um trabalho de análise e de síntese, sem esquecer a imaginação e o encantamento inerentes às atividades investigativas (Batista; Fusinato; Blini, 2009, p. 45).

Para alcançar toda essa complexidade que Batista, Fusinato e Blini (2009) trazem sobre o uso de experimentos, é necessário que essas atividades sejam pensadas não só considerando o viés demonstrativo, mas também a participação ativa dos alunos, sendo que, ao realizar experimentos nesse formato, os estudantes exploram a metodologia científica e vivenciam as etapas desse processo, permitindo, dessa forma, que produzam um trabalho de análise e síntese que fomenta a imaginação e investigação. Conforme Guimarães (2009), a experimentação pode ser

vista como a primeira etapa da metodologia científica, ou seja, a construção da pergunta de pesquisa, quando, além do seu efeito de contextualização, estimula o papel investigativo dos estudantes a partir das problematizações que a atividade pode trazer:

No ensino de ciências, a experimentação pode ser uma estratégia eficiente para a criação de problemas reais que permitam a contextualização e o estímulo de questionamentos de investigação. Nessa perspectiva, o conteúdo a ser trabalhado caracteriza-se como resposta aos questionamentos feitos pelos educandos durante a interação com o contexto criado (Guimarães, 2009, p. 198).

Consoante Taha *et al.* (2016), para se ensinar ciências, é fundamental articular os conteúdos com a necessidade de aprendê-los e, portanto, é necessário não só o uso de uma única estratégia, mas, em verdade, um conjunto de estratégias, sendo a experimentação uma das possíveis ferramentas que colaboram para o processo de ensino e aprendizagem:

A arte de ensinar Ciências requer uma capacidade de fazer essa articulação, para isso não existe uma metodologia específica, ou uma única forma de ensinar, é preciso um conjunto de metodologias capazes de fazer com que se construa um novo conhecimento. Desse modo é importante que para abarcar esse conjunto de metodologias, se faça uso de uma variedade de ferramentas didático-pedagógicas. Uma ferramenta que pode corroborar para esse processo de ensino-aprendizagem é a experimentação, uma vez que a Ciência tenta compreender o mundo e, a experimentação facilita a compreensão dos fenômenos e transformações que acontecem no mundo (Taha *et al.*, 2016, p. 139).

O processo de ensino e aprendizagem é complexo e dinâmico, visto que há diversas formas e jeitos de se fazer uma determinada intervenção, por exemplo, a própria contextualização. A experimentação é, portanto, apresentada neste trabalho como um facilitador para ensinar ciências, como também uma forma de contextualização dos estudantes.

#### 1.4 UM BREVE LEVANTAMENTO SOBRE O USO DE EXPERIMENTOS PARA O ENSINO DO MOVIMENTO CIRCULAR E UNIFORME NO ENSINO MÉDIO

Este trabalho se concentrou em realizar uma pesquisa de caráter exploratório para levantar como o movimento circular e uniforme (MCU) é abordado nas escolas pelos professores de física que atuam no EM, sendo da rede privada ou pública. Tal pesquisa contou com a participação de 29 professores e foi realizada por meio de um formulário on-line chamado "Google Forms", que apresentou aos participantes questões sobre o uso de experimentos e/ou simuladores para ensinar o MCU.

Também, foi perguntado aos diferentes professores participantes, que atuam em escolas distintas, quantas aulas utilizavam para trabalhar o MCU com os alunos, objetivando, desse modo, verificar se existe uma quantidade de aulas direcionadas para tal em comum entre os professores.

Um dos resultados relevantes desta pesquisa evidenciou que **(i)** 65,5% dos professores, tanto da rede pública quanto da rede privada, utilizam experimentos para abordar o conteúdo de MCU; e **(ii)** 48,3% dos professores utilizam simuladores para a mesma função. Sobre o tipo de experimento utilizado pelos professores, todos eles responderam que fazem uso de experimentos demonstrativos, ou seja, experimentos somente para que os alunos visualizem o MCU em contextos diversos, por exemplo, o funcionamento de uma roda de bicicleta, de engrenagens e de simuladores que demonstram o MCU. Inclusive, a respeito do uso de simuladores, seguem adiante a algumas respostas que expõem o uso demonstrativo dessas ferramentas:

*Professor 1: Experimento virtual usando o PhET Simulator.*

*Professor 2: Rotação da Joanhina e Gravidade e Órbitas do PhET Simulações.*

*Professor 3: Rodas de carrinhos de brinquedo*

*Professor 4: Relógio de ponteiros; globo terrestre.*

O estudo do MCU no EM é um entre tantos outros grandes desafios para os professores quando o assunto é a experimentação no ensino de física. Em grande parte das vezes, este ensino é realizado de forma tradicional e, quando o experimento é utilizado, ele é apresentado na forma demonstrativa, sendo que o aluno não é o protagonista dessa atividade experimental, isto é, não há uma atividade prática, portanto, não há aqui uma abordagem da metodologia científica como estratégia para o ensino.

A experimentação investigativa, segundo Lewin e Lomascólo (1998), é um fator importante de motivação dos alunos, uma vez que no âmbito dessa atividade eles se tornam protagonistas do processo de investigação científica. Nas palavras de Lewin e Lomascólo (1998):

A situação de formular hipóteses, preparar experiências, realizá-las, recolher dados, analisar resultados, quer dizer, encarar trabalhos de laboratório como 'projetos de investigação', favorece fortemente a motivação dos estudantes, fazendo-os adquirir atitudes tais como a curiosidade, desejo de experimentar, acostumar-se a duvidar de certas informações, a confrontar resultados, a obterem profundas mudanças conceituais, metodológicas e atitudinais (Lewin; Lomascólo, 1998, p. 148).

Os resultados desse estudo exploratório aponta para uma problemática para o ensino de física no que se refere à motivação dos alunos para aprender física, pois, segundo uma classificação de tipos de experimentos apresentada no trabalho de Taha *et al.* (2016), a experimentação investigativa é aquela que utiliza a prática experimental a partir do estímulo da investigação que contempla a coleta de dados, o tratamento de dados e a análise e observação dos resultados pelos alunos, sendo o professor apenas mediador dessa atividade.

## 1.5 EXPERIMENTOS E SIMULADORES NO ENSINO DE ASTRONOMIA

A experimentação possui diversas possibilidades de enquadramento, podendo ser desde uma demonstração de um fenômeno natural até a produção de uma atividade prática que proponha um processo investigativo e metodológico. Aqui, a astronomia pode novamente trazer uma possibilidade diferencial no ensino de física. A aproximação dos alunos dos conceitos físicos envolvidos em um fenômeno astronômico pode ser realizada de formas variadas, sendo a experimentação uma delas. Por outro lado, há que esclarecer que essa abordagem também envolve um certo grau de complexidade.

Se a experimentação for uma atividade que envolva a observação do céu, é necessário olhar para condições que viabilizem a prática da observação, que pode depender do local, da quantidade de pessoas e até mesmo dos instrumentos disponíveis para realização dessa atividade. Para a observação do céu, deve-se garantir algumas condições essenciais, nesse sentido, é necessário observar, por exemplo, se o local em que o experimento será realizado possibilita uma boa visualização do céu e conta com baixa poluição luminosa, se a escola ou o professor possui instrumentos de observação, como lunetas ou telescópio, bem como se as condições climáticas estarão favoráveis quando da execução da observação. Ainda, é preciso levar em consideração as dinâmicas escolares, uma vez que o experimento envolve a participação de estudantes em horários diferentes do horário de funcionamento normal da escola.

Com isso, a atividade de observação do céu inclui algumas adversidades de ordem burocrática e, também, certa instabilidade no planejamento da atividade, visto que não é possível garantir que todas as condições levantadas no parágrafo anterior serão garantidas para que o experimento seja efetuado considerando que algumas

delas estão fora do controle dos professores. Uma alternativa para resolução desses possíveis problemas pode ser o uso de simuladores, contornando, desse modo, os imprevistos que possam surgir de uma observação direta do céu, sendo que o uso de simuladores apresenta algumas vantagens, por exemplo, possibilidade de mudança da localização do observador, mudança da data, controle do tempo, observação do céu tanto no passado como no futuro etc.

Outra vantagem relevante quanto ao uso de simuladores corresponde à diminuição do grau de abstração de grande parte dos conceitos que envolvem a astronomia com auxílio de modelos tridimensionais, os quais permitem que os alunos comparem a observação direta do céu sob suas perspectivas com as inúmeras possibilidades de perspectivas do mesmo céu em observação pelos estudantes. Segundo o trabalho de Cardinot e Namen (2017), os simuladores podem oferecer aos alunos uma variedade de possibilidades de visualização de conceitos que envolvem o cotidiano:

Neste sentido, o uso desse tipo de ferramenta é sem dúvida uma alternativa muito interessante no processo de ensino aprendizagem da astronomia como um todo, pois permite que o indivíduo seja introduzido a uma enorme variedade de conceitos relevantes de forma natural (Cardinot; Namen, 2017, p. 70).

Carraro e Pereira (2014) destacam que o uso de simuladores permite alterar com facilidade os parâmetros físicos envolvidos nos fenômenos naturais observados a fim de abordar diversas situações cotidianas, exibindo, dessa maneira, uma melhor interação dos estudantes com os conceitos abordados. Um exemplo disso é a funcionalidade de acelerar o tempo em uma atividade de observação do céu, propiciando que o aluno compreenda melhor uma grandeza física envolvida no fenômeno observado, ou até mesmo de mudar o referencial observacional que diferencia e destaca essa grandeza. Nas palavras de Fiolhais e Trindade (2003):

Embora as simulações não devam substituir por completo a realidade que representam, elas são bastante úteis para abordar experiências difíceis ou impossíveis de realizar na prática (por serem muito caras, muito perigosas, demasiado lentas, demasiado rápidas, etc.). Quando se revestem de um caráter de “jogo”, as simulações fornecem uma recompensa pela realização de um certo objetivo (Fiolhais; Trindade, 2003).

Atualmente, existem alguns simuladores disponíveis tanto para o uso em computadores quanto para o uso em aparelhos celulares, o que facilita sua utilização em atividades aplicadas dentro da própria sala de aula, sem necessitar de um espaço específico para isso ou de locomoção dos alunos. Vale sinalizar, ainda, que existem

simuladores para observação do céu gratuitos e outros pagos, sendo que há enfoques diferentes entre os simuladores.

O acesso a simuladores para o estudo de temas da astronomia é bastante simples, visto que há diversos tipos e formatos distintos. O simulador “Stellarium” é um exemplo de simulador gratuito para uso em computadores e, por outro lado, pago para uso em aparelhos celulares; já o simulador “StarWalk” existe apenas na versão para uso em aparelhos celulares, contando com um plano gratuito e outro pago; o Google também possui um aplicativo para aparelhos celulares direcionado para o mesmo fim, o “SkyMap”, que também é gratuito. Constata-se, portanto, que existem várias alternativas e possibilidades para o uso desses simuladores. O trabalho de Santos (2017) traz resultados no sentido de evidenciar que o uso de simuladores para abordar conceitos físicos, além de ter cumprido seu propósito no que abrange a motivação e a melhor compreensão dos conceitos, também se mostrou efetivo ao resolver a grande maioria das dúvidas trazidas pelos alunos em estudos de astronomia realizados em anos anteriores ao EM, ao longo do processo escolar.

O uso de simuladores como ferramenta no processo de ensino e aprendizagem é um tema bastante discutido dentro dos trabalhos acadêmicos, os quais são frequentemente abordados como facilitadores no processo de aproximação entre os conceitos teóricos e a realidade dos alunos. Ressalta-se que, mesmo que apresentem uma simulação da realidade, os simuladores se mostram efetivos com apoio da mediação dos professores. Algumas perdas são visualizadas no processo pedagógico ao se utilizar um simulador para substituir uma atividade de observação do céu no formato presencial, por exemplo:

- explorar um espaço de aprendizagem fora da sala de aula;
- aprender a manusear instrumentos de observação;
- participar das dificuldades e escolhas técnicas para propiciar uma boa observação, incluindo a escolha do local de observação e a direção para montagem do telescópio; e
- explorar vários astros na mesma atividade.

Nessa toada, verifica-se que a utilização dos dois métodos de observação de forma complementar, isto é, o uso dos simuladores em conjunto com a observação do

céu de forma presencial, pode ser uma boa alternativa para explorar o potencial de cada método e superar as respectivas limitações de ambos. Segundo Santos (2017), tal uso combinado é capaz de fornecer aos estudantes maior profundidade e solidez nos temas abordados, sendo que os próprios estudantes relatam que o uso de recursos distintos os auxiliou no processo ensino e aprendizagem. Além disso, é plausível comparar os métodos e, com isso, refletir a respeito da variedade e evolução dos recursos que podem ser utilizados para o ensino de astronomia.

## 1.6 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma sequência didática (SD) para o ensino do MCU em turmas do 1º ano do EM, utilizando temas da astronomia como objeto de estudos da SD, ou seja, trabalhar os conceitos físicos que envolvem o MCU partindo dos estudos sobre astronomia, sendo que tais conceitos estão associados aos fenômenos naturais que envolvem o tema. A SD foi elaborada para que o aluno figurasse como parte atuante do processo de construção do saber e que pudesse construir novas relações com o mundo que o envolve a partir da vivência de uma atividade prática em que a metodologia científica fosse priorizada.

Esta pesquisa tem como objetivo entender se abordar os conceitos físicos que envolvem o MCU a partir da astronomia vinculada à vivência de uma atividade prática que prioriza a metodologia científica propicia que os alunos concretizem esses conceitos de forma efetiva e consigam relacioná-los a outros movimentos circulares presentes em seu cotidiano. Sobre a estrutura da dissertação, esta será dividida em quatro capítulos da seguinte forma: **(i)** o primeiro capítulo, conforme apresentado anteriormente, corresponde à introdução do trabalho; **(ii)** na sequência, o segundo capítulo consiste na abordagem do produto educacional, ou seja, a elaboração da SD; **(iv)** em continuidade, o terceiro capítulo trata a respeito da aplicação da SD e evidencia os resultados apurados; e **(v)** por fim, o quarto capítulo encerra esta pesquisa com as conclusões verificadas.

## 2 PRODUTO EDUCACIONAL

A SD que será apresentada neste capítulo teve como objetivo, primeiramente, explorar a área da astronomia a partir de um tema da física e, também, implementar atividades práticas para que os alunos, além de terem uma vivência desses conceitos em moldes diferentes do ensino mais tradicional que geralmente ocorre dentro da sala de aula, aproximem-se desses conceitos a partir de elementos que estão presentes em seu cotidiano – como o céu que nos envolve. Desse modo, o produto educacional conta com uma abordagem dos conceitos físicos pertencentes ao MCU tendo como objeto de estudo central os movimentos dos astros, principalmente o movimento dos planetas em torno do Sol e da Lua em torno da Terra, além do movimento aparente do céu noturno, mais especificamente, o movimento aparente das estrelas em torno do polo sul celeste (PSC), que ocorre por intermédio da projeção do polo geográfico sul na esfera celeste.

A proposta prática da SD consiste em um experimento durante o qual os estudantes devem calcular a velocidade angular de rotação da Terra, considerando o movimento aparente das estrelas, e identificar padrões quanto a tal movimento que são formalmente descritos pelo estudo do MCU. Isso é possível pois o movimento das estrelas em torno do PSC forma rastros circulares cujos polos celestes correspondem ao centro dos arcos de circunferência.

A Figura 1 a seguir exibe um exemplo do registro do movimento aparente das estrelas em torno do polo pois se trata de uma fotografia que foi capturada em longa exposição, com duração de 2 horas e 6 minutos, na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, pelo fotógrafo Vinícius Januário, e mostra diversos rastros das estrelas com formato de semicírculos. Salieta-se que, ao usar a variação da posição angular de cada rastro de estrela juntamente com o tempo de exposição da fotografia, é possível calcular a velocidade angular dos rastros das estrelas, sendo que, indiretamente, será fornecida a velocidade de rotação da Terra – uma vez que esta é o astro que está se movimentando neste exemplo. A atividade prática também explora metodologias de coleta de dados, tratamento de dados e comparação de valores experimentais com valores teóricos, permitindo, assim, que o estudante se aproprie de uma linguagem mais científica.

**Figura 1** – Fotografia do céu noturno da cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, realizada em longa exposição pelo fotógrafo Vinícius Januário.



Fonte: Retirada de Diniz (2019).

A seguir será apresentado o projeto piloto do produto educacional, evidenciando o passo a passo da construção da ideia principal e os elementos que precisaram de uma pré-aplicação para que versão final do produto educacional fosse projetada.

## 2.1 PROJETO PILOTO

Primeiramente, era preciso testar a viabilidade da atividade de fotografar o céu para compor a atividade experimental do produto educacional deste mestrado. Para isso, a professora aplicadora da SD utilizou a viagem de estudo de meio com os estudantes do 1º ano do EM, para a cidade de Itu, situada no interior de São Paulo. Foi proposta pela professora aplicadora da SD uma observação do céu noturno em Itu com um telescópio para uma pré-contextualização das turmas com a astronomia, que é o tema central deste trabalho. Em seguida, como finalização da observação, houve a realização de uma fotografia do céu em longa exposição com apoio de uma câmera semiprofissional da escola.

O objetivo era verificar **(i)** se fotografar o céu para coleta de dados seria uma atividade experimental que faria parte do produto educacional; **(ii)** se realizar a fotografia era factível; **(iii)** quais seriam os materiais necessários para realizar a fotografia; **(iv)** quanto tempo levaria para realizar a fotografia; e **(v)** quais seriam os recursos necessários para realizar essa fotografia. Ainda que, na avaliação da professora aplicadora da SD, essa atividade não fosse implementada como parte do produto educacional, esse momento era importante para que os estudantes pudessem observar o registro do movimento aparente das estrelas no céu noturno em torno do PSC e, assim, criar uma primeira aproximação com o tema do MCU, contextualizando, portanto, a SD.

Os estudantes foram avisados previamente que a realização da referida fotografia consistia num momento em que seria testada uma atividade a ser conduzida ao longo das próximas semanas na disciplina de física e foi solicitado aos estudantes que baixassem, para uso na viagem, um aplicativo simulador do céu, podendo ser os simuladores “Stellarium” (para os alunos que quiserem realizar a assinatura deste) e/ou “StarWalk” (este último está disponível para uso gratuito para todos os aparelhos celulares). Essa observação, realizada em Itu, começou com uma grande roda de conversa com os estudantes sobre a identificação dos objetos no céu com o uso dos simuladores “Stellarium” e/ou “StarWalk”, de modo que eles puderam ter um tempo para utilizar os aplicativos em seus respectivos celulares para discernir algumas constelações e planetas visíveis, objetivando aproximá-los da experiência de observar o céu e reconhecer alguns astros a olho nu, usando como guia o próprio aparelho celular.

Na sequência desse momento de interação, foram realizadas as observações da nebulosa de Órion e da Lua com o uso de um telescópio refletor, por um período de aproximadamente 1 hora, possibilitando que os alunos tivessem um momento de muita interação com a professora aplicadora e, também, com seus colegas de turma. A curiosidade dos estudantes e o entusiasmo diante desse momento de observação foram muito expressivos, principalmente porque a maioria dos estudantes nunca tinha visto a Lua por meio de um telescópio. Depois disso, foi proposto um momento de discussão para que os alunos refletissem sobre o movimento de rotação da Terra e como ele influencia no movimento aparente das estrelas. Tal discussão foi bastante introdutória, tendo sido iniciada somente para explicar para os estudantes o motivo

pelo qual a fotografia seria capturada, visto que eles ainda não haviam assistido nenhuma aula sobre MCU.

Nesse momento, a professora aplicadora apresentou a definição do PSC, explicou que os estudantes iriam tirar uma fotografia do céu em longa exposição e indicou a necessidade de o PSC ficar centralizado na fotografia. O objetivo aqui era que, no retorno da viagem, fosse viável promover uma nova noite de observação do céu na escola, permitindo, dessa maneira, que os alunos tirassem uma foto autoral como parte da primeira atividade experimental do produto educacional. Na ocasião, os alunos utilizaram o simulador “StarWalk” em sua versão de aplicativo para aparelhos celulares visando localizar o PSC e posicionaram a câmera fotográfica.

A primeira dificuldade encontrada nessa atividade foi constatar que o PSC estava encoberto por árvores, conforme se vê na Figura 2 a seguir, por isso não ficou aparente na fotografia. Isso representa um problema, tendo em vista que a atividade principal do produto educacional foi projetada considerando que o PSC estaria visível na fotografia, o que viabilizaria a medição do deslocamento angular de cada rastro das estrelas e, indiretamente, a velocidade de rotação da Terra. A professora aplicadora pôde, então, projetar alternativas para que, mesmo diante de uma fotografia em que o PSC estivesse encoberto, fosse possível calcular o deslocamento angular da estrela, permitindo, nessa linha, a inclusão dessa atividade experimental no produto educacional.

**Figura 2** – Fotografia do céu noturno da cidade de Itu, São Paulo, capturada no dia 13 de março de 2020, com tempo de exposição igual a 1.043,2 segundos, realizada em uma atividade de observação com os alunos do 1º ano do ensino médio do Colégio São Domingos.



Fonte: Elaborada pela autora.

A partir da referida experiência, foi possível listar as condições ideais para realizar o experimento com os estudantes, quais sejam:

- local com pouca poluição luminosa;
- horizonte amplo sem árvores e montanhas ao redor;
- câmera fotográfica que permita fotografar o céu em longa exposição; e
- tripé para segurar a câmera fotográfica durante o tempo da captura da fotografia.

Baseado na experiência de observação e fotografia realizada no projeto piloto, foi possível construir um panorama geral da SD proposta para o ensino do MCU, o qual será apresentado a seguir.

## 2.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA DO PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional foi, portanto, planejado inicialmente para conter uma SD que pudesse ser aplicada ao longo de seis aulas com duração de 45 minutos e uma viagem de estudo de meio na pré-aplicação, como contextualização da SD. A seguir, o Quadro 3 apresenta um panorama geral da SD, com seus respectivos temas, evidenciando resumidamente os objetivos principais de cada uma das aulas ministradas.

**Quadro 3** – Aulas que compõem a sequência didática com seus respectivos temas e duração.

Aula	Tema	Objetivo	Duração
1	Introdução ao MCU: período e frequência	Diferenciar os tipos de movimento retilíneo e circular e apresentar os conceitos período e frequência.	45 minutos
2	MCU	Introduzir o MCU, evidenciando suas características e calculando suas velocidades angular e escalar <sup>1</sup> , bem como as equações horárias da posição e da velocidade.	45 minutos
3	Transmissão de MCU	Mostrar os dois tipos de transmissão de movimento entre dois objetos em MCU: <b>(i)</b> mesmo eixo de rotação; e <b>(ii)</b> objetos conectados por uma corrente.	45 minutos
4	Atividade prática “Fotografando Estrelas – Parte 1”	Aplicar atividade prática para calcular a velocidade de rotação da Terra a partir do movimento aparente das estrelas com base em uma fotografia do céu em longa exposição.	45 minutos
5	Atividade prática “Fotografando Estrelas – Parte 2”	Aplicar atividade prática para calcular a velocidade de rotação da Terra a partir de duas capturas de tela do simulador “Stellarium” referentes a uma estrela em dois instantes diferentes.	45 minutos
6	Finalização da atividade prática “Fotografando Estrelas”	Discutir os resultados e métodos.	45 minutos

Fonte: Elaborada pela autora.

<sup>1</sup> A “velocidade escalar” também pode ser referida como “velocidade linear”, sendo que este trabalho utilizará ambos os termos.

A seguir, será apresentada a descrição detalhada de cada aula que compõe a SD, com seus respectivos objetivos principais e possíveis desdobramentos. É importante que o leitor tenha conhecimento da versão final do produto educacional presente no Apêndice 10 deste trabalho para acessá-lo sempre que precisar do detalhamento de como foi feita cada proposta descrita adiante, por exemplo, qual tipo de simulador foi utilizado para desencadear uma discussão específica ou quais foram as perguntas disparadoras que culminaram em discussão para atingir os objetivos previstos para cada aula.

### **2.2.1 Aula 1 – Introdução ao MCU: Período e Frequência**

O objetivo da primeira aula da SD é que os alunos reconheçam um movimento circular e façam relações desse tipo de movimento com objetos e outros exemplos do seu cotidiano, bem como sejam capazes de diferenciar dois tipos de movimentos circulares pelos conceitos de “período” e “frequência”, além de estudar a relação entre essas grandezas. A princípio, sugere-se mostrar aos estudantes a diferença dos tipos de movimentos que um corpo pode realizar com a intenção de que percebam quais são as especificidades de cada tipo de movimento e por qual motivo é necessário que estes sejam modelados a partir de diferentes funções matemáticas. Para isso, será necessário abordar o movimento retilíneo e uniforme e não uniforme a fim de que seja possível iniciar a discussão já utilizando conceitos físicos que diferenciam os movimentos que observamos, como “aceleração”, “velocidade” e “tempo”.

Em seguida, recomenda-se uma abordagem dos movimentos, introduzindo a astronomia nesses estudos, mostrando os movimentos dos planetas em torno do Sol para que se discuta a respeito dos tipos de movimentos realizados pelos planetas e como eles se diferenciam entre si, bem como sobre outros tipos de movimentos. Aqui, deve-se discutir de que modo é possível considerar que os movimentos de alguns planetas, por exemplo, Terra e Marte, em torno do Sol são circulares pois a excentricidade de suas trajetórias é muito pequena, propiciando que seus movimentos pareçam muito mais círculos do que elipses. Essa discussão é importante porque, apesar de as trajetórias dos planetas serem de fato elipses, quando se observa uma simulação de seus movimentos, estes parecem muito mais circulares, o que pode parecer contraditório para os alunos.

Feita essa aproximação, podemos partir para a diferença no movimento dos planetas, usando como exemplo os planetas Terra e Mercúrio com o objetivo de introduzir os conceitos de período e frequência. O objetivo dessa discussão é que os alunos possam chegar intuitivamente aos conceitos de período e frequência somente olhando para esses movimentos e se questionando sobre o que os diferencia, mesmo que ainda não consigam utilizar de fato os termos nesta nomenclatura. Toda essa discussão e apresentação desses movimentos pode ser conduzida a partir de vídeos, simulações e “GIFs” no âmbito de uma aula expositiva e dialogada, como os materiais que são sugeridos para a primeira aula do produto educacional presente no Apêndice 10.

Os alunos devem ser convidados sempre a descrever os fenômenos observados, sendo que a professora aplicadora da SD poderá mediar a discussão com a finalidade de atingir os objetivos da aula. Em seguida, indica-se que os dois exemplos de problemas que envolvem o cálculo de “período” e “frequência” sejam apresentados e resolvidos em sala de aula, o que ajudará os alunos a ganharem competências para calcular esses conceitos e conhecer suas respectivas unidades de medida. No Apêndice 10, está disponível também uma proposta de atividade avaliativa contendo exercícios sobre esses conceitos a ser entregue na aula subsequente com a finalidade de avaliar o alcance de tais conceitos para os estudantes.

### **2.2.2 Aula 2 – MCU**

A segunda aula da SD aborda os conceitos físicos envolvidos no estudo do MCU, incluindo suas formulações matemáticas, quais sejam: **(i)** deslocamento angular “ $\Delta\theta$ ”; **(ii)** velocidade angular “ $\omega$ ”; e **(iii)** velocidade escalar “ $v$ ”. Propõe-se iniciar com a apresentação das diferenças entre as unidades de medidas angulares, isto é, graus e radianos, e da relação entre essas duas grandezas, mostrando a conversão entre elas para que os alunos se ambientem com relação às unidades de medida que serão utilizadas ao longo do estudo do MCU.

Em seguida, deve-se olhar para o movimento realizado pela Terra em torno do Sol a fim de introduzir aos alunos a discussão sobre qual é a forma mais eficaz de se determinar a posição da Terra quanto ao seu MCU em um instante qualquer. Aqui, a ideia é que os alunos consigam concretizar a visualização do conceito de variação

angular do MCU e que reflitam a respeito das possíveis formas de se descrever a quantidade que a Terra se desloca em uma volta completa em torno do Sol. Isso deve ser feito visando que os alunos percebam que existem dois jeitos de se medir essa quantidade, sendo uma delas em metros (linear) e outra em radianos ou graus (angular), sendo que a localização de um objeto em MCU em sua trajetória é mais eficiente quando expressa em medidas angulares do que em metros, o que há de ser demonstrado.

Na sequência, será introduzido o conceito de “velocidade escalar” desse corpo que realiza MCU a partir do comprimento da circunferência da trajetória circular, a qual é vista como uma trajetória linear se o comprimento do arco da circunferência for “esticado”, como mostra o esquema presente na Figura 3 adiante:

**Figura 3** – Representação da trajetória de um corpo que realiza movimento circular e uniforme.



Fonte: Elaborada pela autora.

A partir disso, a fórmula da velocidade média será aplicada para se descobrir a fórmula da velocidade escalar para o MCU. Primeiramente, os alunos devem ter conhecimento que o deslocamento na forma retilínea corresponde ao comprimento do arco na trajetória do MCU, portanto, “ $\Delta S = 2\pi R$ ”. Em seguida, o conceito estudado na primeira aula de “período” será usado como o tempo de uma volta completa, sendo representado por “ $T$ ”, e relacionado com o intervalo de tempo “ $\Delta t$ ” (estudado em outros movimentos da física, como movimento retilíneo e uniforme e movimento retilíneo uniformemente variado), demonstrando-se que ambos são iguais, ou seja, “ $\Delta t = T$ ”. Substituindo essas relações na fórmula da velocidade média, chega-se à primeira fórmula do MCU, que é o cálculo da velocidade linear em função do raio de curvatura “ $R$ ” e o período “ $T$ ”.

A participação dos alunos nessa dedução é muito relevante para que possam entender a relação entre essas grandezas e o que de fato está sendo calculado, pois isso será importante para deduzirem o conceito de velocidade angular do movimento

circular. Pode-se introduzir, desse modo, o conceito de “velocidade angular” pela quantidade em “ângulos” percorrida em 1 dia (isto é, período), revelando, assim, a segunda fórmula do MCU, que é a relação entre a velocidade angular e o período. A partir daqui, o aluno conhecerá os conceitos físicos estabelecidos e, portanto, terá ferramentas para entender a definição do MCU como o movimento de um corpo com trajetória circular e velocidades angular “ $\omega$ ” e escalar “ $v$ ” constantes.

Para finalizar a aula, o conceito de “variação da posição angular ‘ $\Delta\theta$ ’” será ensinado para que os alunos estabeleçam mais uma relação quanto à velocidade angular, a qual pode ser calculada para qualquer deslocamento angular, desde que se tenha conhecimento do intervalo de tempo do deslocamento. Também, deve-se sinalizar que é possível substituir o “período” pela “frequência angular” nas relações anteriores, obtendo-se, assim, novas relações para a velocidade angular e culminando na equação fundamental do MCU, em que a velocidade escalar é igual ao produto da velocidade angular pelo raio da circunferência.

### **2.2.3 Aula 3 – Transmissão de MCU**

A terceira aula da SD tem como objetivo mostrar que é plausível considerar o movimento aparente das estrelas em torno do PSC como uma transmissão do MCU para o movimento da Terra em torno do seu próprio eixo. Primeiramente, os alunos precisam entender como fazer a transmissão do MCU quando há **(i)** dois objetos realizando MCU sob o mesmo eixo, o que faz ambos terem a mesma velocidade angular “ $\omega$ ”; e **(ii)** dois objetos que giram em torno de eixos diferentes, mas estão conectados por uma corrente, ou mesmo engrenados um no outro, para que tenham a mesma velocidade escalar “ $v$ ”.

É importante que essa transmissão fique clara para que os estudantes consigam relacionar tal transmissão quando observarem a composição dos movimentos formados pela Terra em torno de si mesma e do movimento aparente das estrelas do PSC. Desse modo, ao se atentarem para o movimento aparente das estrelas, os alunos relacionem que este nada mais é do que o movimento de rotação da Terra e que a velocidade de rotação da Terra pode ser calculada por meio do movimento aparente das estrelas, que consiste em um movimento circular em torno do PSC.

Tais procedimentos deverão ser conduzidos com amparo de uma aula expositiva e dialogada, e com o uso de simuladores, os quais devem mostrar, ao mesmo tempo, a Terra girando e as estrelas realizando MCU, de forma aparente, em torno do PSC por meio da marcação dos seus respectivos rastros. Com isso estabelecido, as fórmulas devem ser exploradas, as quais são ferramentas para que os alunos estudem essa transmissão.

Conforme referido, dois tipos de transmissão serão demonstrados, sendo que se verificará o seguinte **(i)** quantos aos corpos com o mesmo eixo de rotação, as velocidades angulares serão iguais; **(ii)** por sua vez, no caso dos corpos que giram em torno de eixos diferentes, as velocidades escalares serão iguais. A partir dessa distinção das velocidades iguais para cada caso, pode-se evidenciar os desdobramentos dessa igualdade pela substituição da equação dessas velocidades, relacionando **(i)** as velocidades e os raios das trajetórias para o primeiro caso; e **(ii)** as frequências e os raios das trajetórias no segundo caso. É importante trabalhar também com exercícios que envolvam transmissão de MCU e suas respectivas soluções para que os alunos entendam como essas questões apresentam os valores para as respectivas grandezas físicas envolvidas e quais são os tipos de perguntas sobre essa transmissão, evidenciando, dessa forma, qual das equações deve ser usada para alcançar a solução correta.

Para a quinta aula da SD, é necessário que os alunos tenham em mãos a fotografia do céu noturno em longa exposição, mencionada no início deste capítulo, para realizar a atividade experimental pensada para a SD. Para isso, é preciso programar uma noite de observação do céu noturno a ser realizada entre a terceira e quarta aulas da SD a fim de que os alunos consigam fotografar o céu, em longa exposição, capturando o movimento aparente das estrelas e executar, dessa forma, os cálculos necessários no âmbito da atividade experimental a ser aplicada durante a quarta aula da SD.

Com o material de apoio, deverão ser fornecidos dois roteiros de experimento, a saber: **(i)** um com instruções sobre a forma de encontrar o PSC para realizar a fotografia do céu em longa exposição; e **(ii)** outro com instruções a respeito de como manipular a câmera fotográfica para realizar a fotografia do céu em longa exposição. A professora da SD deverá estar presente e fazer a mediação dessa atividade para esclarecer as dúvidas dos alunos quanto ao método de obtenção da fotografia e

mesmo as questões referentes à própria manipulação da câmera fotográfica, incluindo as técnicas a serem utilizadas para programá-la para realizar uma foto em longa exposição.

Nessa saída para fotografar o céu, é desejável que os alunos se dividam em grupos de 4 alunos para que façam a sua fotografia em longa exposição. Os alunos poderão escolher o tempo de exposição e, também, a região das estrelas em torno do PSC que querem fotografar. Vale lembrar que, no início deste capítulo, foi mencionada a vivência desses alunos quanto à efetuação dessa fotografia durante a viagem de campo na cidade de Itu, São Paulo. Ainda, é importante que o aluno seja protagonista no momento em que escolher tanto o tempo de exposição da fotografia quanto o local do céu a ser fotografado. Caso a escola não possa fazer essa atividade, seja por não ter a câmera fotográfica adequada ou algum outro motivo que impossibilite essa saída com as turmas, será disponibilizada a foto do céu em longa exposição realizada na cidade de Itu, São Paulo, mencionada no início deste capítulo.

#### **2.2.4 Aula 4 – Atividade Prática “Fotografando Estrelas – Parte 1”**

A quarta aula da SD foi direcionada para apresentar o experimento “Fotografando Estrelas”, que consiste em calcular a velocidade de rotação da Terra a partir de dois métodos, quais sejam: **(i)** o primeiro método consiste na utilização da captura de tela de dois momentos de uma estrela com auxílio do simulador “Stellarium”; e **(ii)** o segundo método é baseado no uso do rastro da estrela observado na foto do céu em longa exposição. Essa proposta foi pensada para que o aluno vivencie dois tipos de métodos para calcular a mesma grandeza física, isto é, a velocidade de rotação da Terra, sendo que esses métodos se diferenciam nas suas respectivas coletas de dados, uma vez que, no primeiro método, utiliza-se a variação da posição angular de uma estrela em um determinado intervalo de tempo com apoio do simulador “Stellarium”, enquanto no segundo método essa variação angular é coletada pelos rastros das estrelas presentes na fotografia em longa exposição.

Para o primeiro método, é necessário ambientar os alunos quanto ao uso do simulador “Stellarium”, sendo importante que nesse início haja uma apresentação do simulador, o que pode ocorrer com ajuda de um projetor em sala de aula. Basicamente, é preciso que nessa aula o aluno compreenda o lugar de acesso ao simulador, como operar as suas ferramentas básicas (por exemplo, mudança de

localização e visualização do céu com ou sem a interferência da atmosfera) e, também, onde e como localizar informações sobre a estrela escolhida para realização de duas impressões a serem utilizadas na segunda parte do experimento. O aluno poderá ter autonomia para escolher qual estrela será utilizada para o seu experimento para calcular a velocidade de rotação da Terra e compará-la aos valores teóricos. Esta aula precisa acontecer na sala de informática, cabendo ressaltar a importância da presença de uma impressora para imprimir os dois momentos da estrela de cada aluno.

Para coletar a variação angular da trajetória da estrela escolhida, o estudante utilizará um transferidor para aferir a medida e, assim, terá contato com um método de medição mais manual. As Figuras 4 e 5 a seguir mostram o processo para medição da variação da posição angular, sendo a Figura 4 uma sobreposição das impressões dos dois momentos da estrela, considerando a marcação da posição das estrelas nesses instantes com uma caneta, enquanto a Figura 5 expõe o procedimento para calcular essa variação com o transferidor.

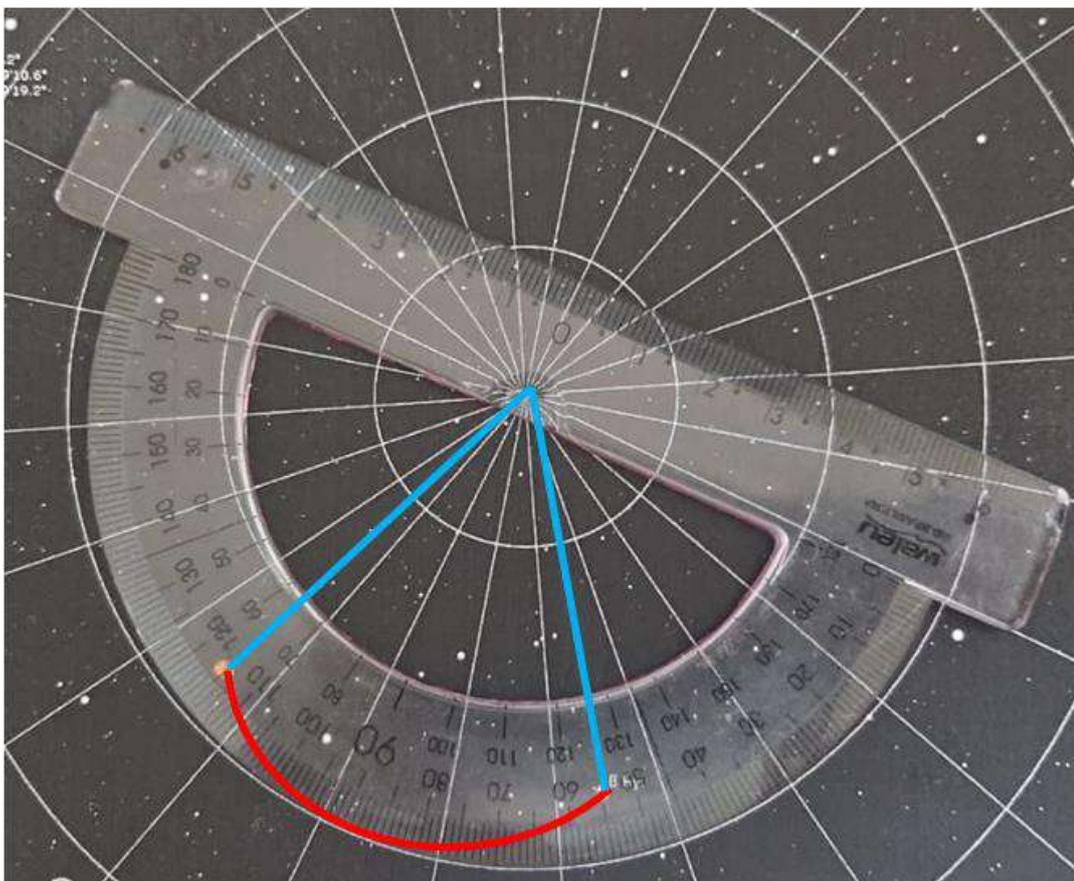
**Figura 4** – Impressão da captura de tela de uma região do céu observada a partir do simulador “Stellarium”, considerando a marcação das posições da mesma estrela em um intervalo de tempo.



Ponto vermelho: representa a posição de uma estrela em um momento inicial.  
Ponto laranja: corresponde à posição do mesmo objeto após 4 horas de observação.

Fonte: Elaborada pela autora.

**Figura 5** – Representação do uso do transferidor para medir a variação da posição angular do movimento aparente de uma estrela em um intervalo de tempo de 4 horas de observação com apoio do simulador “Stellarium”.



Fonte: Elaborada pela autora.

É importante que o experimento seja conduzido com a aplicação dos dois métodos porque, dessa maneira, os alunos se familiarizarão com a forma de se obter tal velocidade, visto que a diferença entre as duas partes do experimento está no método de medição da variação da posição angular da estrela, mantendo, assim, a mesma lógica do uso das fórmulas para obtenção do cálculo da velocidade angular de rotação da Terra. Essa dinâmica também permitirá que o aluno compare quais dos métodos apresenta valores mais compatíveis com os valores teóricos.

### **2.2.5 Aula 5 – Atividade Prática “Fotografando Estrelas – Parte 2”**

A quinta aula da SD é dedicada à apresentação da atividade “Fotografando Estrelas – Parte 2”, cujo objetivo é estudar a transmissão de MCU, relacionando o movimento de rotação da Terra com o movimento aparente das estrelas em torno do PSC. A velocidade de rotação da Terra será determinada pelo cálculo da velocidade

dos movimentos das estrelas utilizando os rastros das estrelas presentes na fotografia do céu em longa exposição, conforme descrito anteriormente. É necessário que esta aula aconteça na sala de informática da escola para que os alunos consigam utilizar os computadores e, dessa forma, conduzir o experimento com auxílio das ferramentas do *software* “Geogebra”.

É desejável, ainda, que esta aula seja iniciada com uma breve introdução ao uso do *software* “Geogebra”, que é uma ferramenta com diversas possibilidades de medição e será útil na atividade a ser aplicada durante a aula, já que tal *software* conta com as funções de **(i)** calcular a medida angular do rastro de uma figura ou fotografia; e **(ii)** calcular o deslocamento angular da estrela por meio da medida de cada rastro em torno do PSC. Também, precisa-se construir com os alunos, a partir de uma discussão, que é possível calcular a velocidade dessas estrelas e apresentar os valores encontrados para a velocidade angular de rotação da Terra conhecendo o tempo de exposição da foto (que será o intervalo de tempo de deslocamento dessas estrelas) e as equações apresentadas nas aulas anteriores, além de ser viável calcular a velocidade escalar de um ponto na Linha do Equador da Terra.

O roteiro do experimento mostra o passo a passo para realizar a coleta de dados, o tratamento deles e a apresentação dos resultados. A professora aplicadora da SD deverá deixar os alunos realizarem as atividades presentes no roteiro de coleta de dados, permanecendo disponível para esclarecer as dúvidas dos estudantes quanto às informações contidas no roteiro, à execução da atividade ou até mesmo a respeito do uso do *software* “Geogebra”. Além disso, é pertinente que os alunos possam coletar seus dados e realizar os seus cálculos em grupo, garantindo, desse modo, a possibilidade de discussão e resolução dos problemas que surgirem de um modo coletivo e autônomo.

### **2.2.6 Aula 6 – Finalização da Atividade Prática “Fotografando Estrelas”**

Na última aula da SD, o objetivo é promover um fechamento de forma coletiva, com relatos de experiências e compartilhamento dos resultados obtidos pelos alunos, para que seja possível propor uma discussão com a intenção de verificar se os valores das velocidades angular e escalar apurados pelos estudantes se mostraram coerentes quando comparados aos valores teóricos. Além disso, pretende-se conferir se é plausível afirmar, a partir dos resultados, que o experimento conduzido se mostrou um

bom método para cálculo da velocidade de rotação da Terra, bem como quais outros objetos ou situações do cotidiano apresentam trajetórias de MCU.

Ainda, tal discussão visa verificar, se nas turmas nas quais o experimento foi aplicado, o método pensado para estudar o MCU foi de fato efetivo. Nessa linha, é importante checar se os valores encontrados estão próximos dos valores teóricos esperados, assim como se os termos “velocidade angular”, “velocidade escalar” e “variação da posição angular de um corpo que realiza MCU” ganharam sentido concreto para esses alunos que puderam efetivamente realizar um experimento em que essas grandezas estão diretamente envolvidas, tanto na coleta de dados quanto no tratamento desses dados.

Por fim, é pertinente examinar se os alunos conseguiram se apropriar desses conceitos de modo a explicar ou citar outras situações do cotidiano em que também são verificadas trajetórias de MCU. Também nesta última aula, a professora aplicadora da SD deverá receber os roteiros utilizados nas quarta e quinta aulas devidamente preenchidos, que mostrarão o processo dessa vivência, nesse sentido, a professora poderá avaliar tanto quantitativamente quanto qualitativamente esse processo.

No próximo capítulo, será apresentada a aplicação da SD, evidenciando as mudanças e adaptações, quando houver, em relação à descrição apresentada neste capítulo, bem como os resultados de tal aplicação.

### 3 APLICAÇÃO E RESULTADOS

#### 3.1 UMA INTRODUÇÃO À COMUNIDADE ESCOLAR

A aplicação da SD foi realizada em uma escola de educação básica da rede particular, que atende alunos desde o ensino infantil até o ensino médio, localizado na Zona Oeste da cidade de São Paulo, São Paulo, cujo nome é Colégio São Domingos. A escola ocupa uma área total de 4 mil metros quadrados, onde consta um casarão antigo, que compõe o setor pedagógico e administrativo da escola, três complexos de salas de aula de construção mais recente, destinados aos ensinos infantil, fundamental e médio, e outros ambientes, como: ateliê de artes, laboratório de ciências, biblioteca, quadra poliesportiva, sala multimídia, sala de informática e pátios. Pode-se encontrar no site da escola sua apresentação, a qual está transcrita a seguir:

O colégio constitui um núcleo comunitário de educação, com gestão participativa. A essa comunidade agregam-se famílias e profissionais interessados em desenvolver a formação de indivíduos capazes de equacionar contradições da vida social por meio de entendimentos e negociações, bases da consciência comunitária, fundamento do exercício democrático (Apresentação..., [2024?]).

Sobre os princípios e valores da escola, esta se apoia em pilares mais humanitários e cooperativos, por exemplo: **(i)** produção coletiva de conhecimentos e ações; **(ii)** contextualização e problematização dos saberes; **(iii)** ação investigativa para construir conhecimentos; **(iv)** desenvolvimento da postura crítica e propositiva; **(v)** criatividade dos fazeres pedagógicos; **(vi)** transparência dos objetivos propostos e processos vividos; **(vii)** desenvolvimento da cooperação nas relações interpessoais; **(viii)** afirmação das diversidades em sua plenitude; **(ix)** exercícios éticos frente a tomadas de decisão; e **(x)** diálogo para a solução de conflitos.

A escola também se mostra bastante propositiva quanto à formação contínua dos educadores, sendo que o site da escola traz detalhes sobre tal prática, conforme segue:

O colégio entende que realizar uma educação de qualidade pressupõe um trabalho de formação com os diferentes agentes do processo, assim diversas frentes de formação estão presentes no colégio. Semanalmente, os professores reúnem-se com suas coordenações para a realização de estudos de caso, articulação de temas de trabalhos ou ajustes metodológicos. Mesas-redondas, palestras, conferências e assessorias com profissionais especializados em temas de relevância para as práticas em curso no Colégio constituem recurso também bastante empregado no processo de formação dos educadores (Formação..., [2024?]).

Os processos avaliativos também são pensados para que aluno e professor façam uma análise sobre eles, de forma que consigam traçar estratégias tanto para o coletivo quanto para o individual, a depender de cada caso. A ideia é que o processo avaliativo promova a resolução e o esclarecimento de problemas, bem como ajustes, e não um instrumento punitivo para o aluno que o coloque como único agente responsável por esse processo. A escola trabalha com menções<sup>2</sup> “A”, “B”, “C”, “D” e “E”, o que permite que o professor consiga priorizar a individualidade de cada aluno dentro do seu processo de aprendizagem. Ainda sobre o conteúdo disponível no site da escola, o processo avaliativo é pensado da seguinte forma:

Compreendemos, no Colégio São Domingos, que toda prática avaliativa visa ao aprimoramento do processo de ensino e aprendizagem. A intenção maior é de referenciar para os envolvidos nessa dinâmica quais ajustes podem ser feitos para melhorar tanto a prática do ensino (por parte dos educadores) como a aprendizagem dos alunos. Portanto, procuramos distanciar-nos de uma avaliação seletiva, discricionária que estimula a competitividade e responsabiliza unilateralmente o aluno pelos seus resultados.

Ao avaliar, proporcionamos a tomada de consciência sobre os saberes visitados e retomamos as metas que perseguimos. Uma boa avaliação possibilita redimensionamento das percepções, novos olhares – quer dos educadores quer dos alunos sobre suas produções.

Desta forma, a avaliação no CSD é processual, inclui o trabalho com diferentes competências, procedimentos e conteúdos. Ela ocorre cotidianamente no olhar apurado dos professores e colegas, nas devolutivas dadas, nas revisões feitas pelos próprios alunos e também inclui momentos específicos, de sistematização das aprendizagens (Formação..., [2024?]).

A organização curricular é realizada de um modo totalmente autoral e independente, sendo que o professor tem liberdade e autonomia para construir o seu próprio currículo para cada série em que atua, tanto no que diz respeito à ordem dos conceitos quanto na introdução de conceitos teóricos que não fazem parte do currículo mais tradicional. Esse planejamento curricular ocorre no formato dinâmico, isto é, existe a possibilidade de se repensar, ao longo do trajeto, possíveis mudanças e aprofundamentos e até mesmo mudanças mais bruscas que podem ser necessárias devido a alguns fatores, como: **(i)** andamento no cotidiano das turmas; **(ii)** acontecimentos internos ou externos que envolvam ou não a comunidade escolar; e **(iii)** resultados de processos avaliativos.

A matriz curricular consta no site da escola e está expressa de forma resumida nos trechos destacados a seguir:

---

<sup>2</sup> Aqui, evidencia-se a diferença do Colégio São Domingos quanto às escolas mais tradicionais, que trabalham com a atribuição de notas de 0 a 10.

Construir processos investigativos a partir da admiração e do abalo, para que o ato de conhecer se sobreponha ao mero ensino das coisas conhecidas, eis a nossa concepção e nossa aposta na educação.

[...]

Em consonância com esta concepção epistemológica e seus desdobramentos pedagógicos, optamos sempre por uma abordagem integrada (conectada, enredada) dos conteúdos e das áreas de conhecimento.

[...]

Conceber o currículo como narrativa é uma prática que adotamos para articular, no projeto de cada série, os conteúdos das várias disciplinas que compõem a Matriz Curricular do Ensino Médio. A ideia de narrativa (à luz de Walter Benjamin) nos oferece uma alternativa filosófica bastante razoável para escaparmos da lógica mecanizada com a qual o currículo tem sido concebido e realizado no ensino médio.

[...]

Este modo de conceber nos permite pensar um projeto pedagógico cujo currículo não esteja meramente vinculado à repetição de 'conteúdos escolares' e à validação dos conhecimentos consagrados pela tradição, mas à autenticidade da experiência cognitiva, estética, ética e política da/os aluna/os (e professora/es) com os seus objetos de investigação e estudo. Nesta perspectiva, o conhecimento adquire um caráter autoral, de testemunho, cuja legitimidade não advém dos livros ou dos fatos, mas das experiências de leitura e interpretação (Colégio São Domingos, [2024?], p. 2-4).

As turmas de ensino médio dessa escola são submetidas a 7 aulas por dia, com 45 minutos de duração cada, sendo distribuídas das 7h15 às 13h00, com dois intervalos de 15 minutos. As disciplinas que compõem a matriz curricular da escola são as seguintes: **(i)** língua e literatura portuguesa; **(ii)** língua inglesa; **(iii)** história; **(iv)** geografia; **(v)** filosofia e sociologia; **(vi)** matemática; **(vii)** física; **(viii)** química; **(ix)** biologia; **(x)** educação física; e **(xi)** artes. Adicionalmente, a escola oferece, todos os dias, oficinas que acontecem no contraturno, as quais são ministradas de forma voluntária pelos docentes que compõem a equipe de educadores e são optativas para os estudantes, o quais podem participar de todas as oficinas ou de nenhuma. As oficinas geralmente são ministradas de acordo com interesses ou dos alunos ou até mesmo dos professores, sendo que algumas oficinas que já aconteceram, entre outras, são as seguintes: **(i)** oficina de astronomia; **(ii)** oficina de leitura de quadrinhos; **(iii)** oficina de ensino de língua espanhola; e **(iv)** clube de matemática.

A professora pesquisadora que planejou e aplicou a SD é licenciada em física pela Universidade de São Paulo – USP e é professora da disciplina de física do Colégio São Domingos em todas as séries do ensino médio desde o ano de 2019. O interesse pela astronomia da professora despertou durante o seu ensino médio e, ao longo da graduação, buscou cursar disciplinas dessa área para compor sua formação profissional. Desde os primeiros anos da docência, sempre incentivou e garantiu a

participação dos alunos na Olimpíada Brasileira de Astronomia – OBA, que é uma competição a nível nacional por meio da aplicação e resolução de uma prova avaliativa que aborda temas de astronomia e astronáutica. Percebendo o grande interesse dos alunos nesses temas, a professora propôs em 2019 uma oficina que abordava diversos temas da astronomia no contraturno e que contou com participação significativa dos alunos.

A equipe de professores da escola tem boas relações interpessoais e convive em um ambiente que estas são fortalecidas pela escola, por exemplo, ao promover, de modo institucional, momentos de integração para pensar o processo de ensino e aprendizagem ao longo de todo o ano letivo, bem como ao manter um espaço permanente de diálogo a respeito de tais processos. Os alunos e professores possuem uma conexão importante, de muito afeto e respeito, o que estimula a construção e o impulsionamento de grandes vínculos e boas parcerias. Todo esse ambiente favoreceu tanto a possibilidade de se pensar na SD, como também a aplicação desta de forma bastante efetiva.

### 3.2 MUDANÇAS E ADAPTAÇÕES NA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O MODELO DE ENSINO À DISTÂNCIA

A SD foi aplicada às duas turmas do 1º ano do EM do Colégio São Domingos (“1º ano A” e “1º ano B”), as quais possuem, ao todo, 54 alunos (frisa-se que há 27 alunos em cada turma). Logo após a viagem de estudo de meio com destino à cidade de Itu, São Paulo, em 13 de fevereiro de 2020, como atividade de contextualização e pré-aplicação da SD, esta precisou ser modificada pois, em 16 de março de 2020, o colégio suspendeu as aulas devido à pandemia da doença do coronavírus – COVID-19. Por consequência disso, o projeto teve que ser reformulado para as novas condições de ensino à distância, sofrendo, assim, bastantes modificações e adequações, as quais serão descritas a seguir.

Primeiramente, foi necessário adiar a aplicação da SD para o início do 4º bimestre escolar, que iniciava no mês de outubro, portanto, a ocasião de contextualização da SD se distanciou do momento de sua aplicação, havendo, aproximadamente, 8 meses de intervalo. O motivo principal para isso foi a necessidade de reorganização de toda a dinâmica pessoal e, também, profissional frente aos desafios impostos pela pandemia, o que levou a comunidade escolar a

pensar em novos formatos de ensino e aprendizagem. Nesse sentido, a escola precisou de alguns meses para se reorganizar e, por fim, estabelecer um formato de ensino e aprendizagem totalmente on-line por 1 ano e meio, o qual foi modificado para o formato híbrido em agosto de 2021, o que era baseado em 3 dias de aulas on-line e 2 dias de aulas presenciais para cada semana de aula, sendo que as turmas tinham escalas para que sempre o mesmo grupo se encontrasse presencialmente e não ampliasse o número de contatos entre os diferentes grupos.

Dessa maneira, toda a SD foi revisada e reorganizada para que todas as suas etapas pudessem ser aplicadas à distância e sem os recursos que a escola disponibiliza, por exemplo: **(i)** uso da sala de informática; **(ii)** uso de notebooks pelos alunos no âmbito da própria aula e com a mediação presencial da professora aplicadora; e **(iii)** uso dos espaços e dinâmicas de funcionamento do próprio grupo no formato presencial. Um dos primeiros e principais impactos de tal reorganização consiste no fato de a atividade experimental prevista para a aplicação da SD ter como premissa que os alunos se encontrassem em uma noite de observação na escola para tirar uma fotografia do céu noturno em longa exposição e, a partir disso, cada grupo de estudantes seguisse com a sua atividade experimental baseada na sua própria fotografia do céu.

De forma geral, praticamente todo o processo de coleta de dados também foi readaptado, pois, com a mudança para o formato de ensino à distância, era possível que a participação desses alunos frente às câmeras sofresse grande influência, o que poderia impactar diretamente na aquisição de dados para esta pesquisa. Essas turmas, antes da pandemia, tinham um perfil de participação muito significativo durante as aulas e, na primeira semana de vivência desse novo modo à distância, foi perceptível uma diminuição significativa da participação desses estudantes nas aulas. Possivelmente, isso ocorreu por conta de toda a mudança do contexto da vida estudantil e das dinâmicas das próprias casas dos alunos e de suas respectivas famílias, bem como por estarem diante dos outros estudantes por intermédio de uma câmera, expondo ali a sua imagem num formato diferente do habitual.

Nessa perspectiva, toda a SD foi aplicada no modo remoto e as aulas de física – que antes aconteciam com uma frequência de três aulas por semana, com duração de 45 minutos cada –, passaram a acontecer uma vez por semana, de forma síncrona (isto é, ao vivo), por meio de videochamada com apoio da plataforma “Google Meet”,

com duração de 1 hora e 15 minutos por aula. As duas turmas (“1º ano A” e “1º ano B”) assistiam às aulas juntas, porém, todas as tarefas foram individualizadas e realizadas com auxílio da plataforma “Google Classroom”, separadamente para cada turma. Todas as aulas foram gravadas em vídeo e disponibilizadas para os alunos nessa mesma plataforma para garantir acesso aos estudantes, mesmo que eles tivessem algum problema de conexão ou mesmo um problema de cunho particular que os impedisse de conseguir assistir à aula de forma síncrona, isto é, no momento em que ela estava sendo ministrada.

O fato de as turmas assistirem às aulas juntos, transformando-os em uma única turma, também pode ter impactado na participação dos alunos durante as aulas. Essas turmas, em sua grande maioria, estudam e convivem há muitos anos – muitas vezes desde o segmento infantil da escola, assim, os estudantes estavam acostumados a se expor dentro do mesmo grupo. Juntá-los pode ter causado a impressão de que aquela comunidade não era mais a mesma de antes por conta da presença de elementos novos e, portanto, pode ter sido um fator determinante para a diminuição da participação dos alunos em aula.

Ainda, outro fator que pode ter influenciado na diminuição da participação dos alunos em aula, foi a presença das famílias dentro desse contexto, que antes era restrito à comunidade escolar. Os estudantes passaram a assistir às aulas na presença da família por conta do distanciamento social (mais conhecido em inglês como “*lockdown*”), por isso era comum ver, pelas câmeras, familiares ao lado dos alunos, passando pelo mesmo ambiente e, às vezes, até trabalhando no mesmo cômodo em que os estudantes assistiam e participavam das aulas. Isso com certeza pode ter interferido não só no processo de aprendizagem dos conceitos da aula, como também no processo de participação e colocação desses indivíduos, no papel de alunos, considerando essa dinâmica.

Dadas essas informações de mudanças radicais no cotidiano escolar desses estudantes, a aquisição de dados para esta pesquisa precisou ser ampliada para que não dependesse somente da participação dos estudantes por meio de respostas manifestadas durante as aulas síncronas. Uma estratégia foi coletar, também, informações recorrendo a formulários on-line, os quais eram respondidos de forma particular, tanto na forma síncrona quanto na forma assíncrona, para que os alunos se sentissem num ambiente mais seguro e pudessem, dessa forma, falar mais

livremente sobre as perguntas-chave que tentaram responder ao longo de toda a aplicação da SD. Tais formulários ajudaram igualmente a coletar dados que pudessem evidenciar a evolução dos conceitos físicos do MCU a cada etapa. As falas dos alunos durante as aulas também foram consideradas para análise deste trabalho, uma vez que, por consequência direta do formato, todas elas foram gravadas em sua integralidade.

A seguir, serão apresentadas as descrições da aplicação SD, aula a aula, evidenciando as mudanças que ocorreram na SD, tanto por conta da nova dinâmica de ensino à distância como também em razão da percepção da professora aplicadora da SD de que a SD programada para o formato presencial precisava sofrer algumas modificações para garantir uma boa adaptação do projeto.

### 3.3 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E OBSERVAÇÃO DOS RESULTADOS

Uma aula anterior à aplicação da SD, nos últimos cinco minutos de aula, foi proposto pela professora aplicadora um “questionário-diagnóstico”, a ser respondido por meio do “Google Forms” (Apêndice 1), disponibilizado no âmbito da plataforma “Google Classroom” das duas turmas (“1º ano A” e “1º ano B”). Tal questionário era composto por cinco questões dissertativas com a finalidade de identificar, antes mesmo de iniciar os estudos em sala de aula sobre MCU, quais eram as explicações dos alunos sobre o tema, bem como quais termos e lógicas eles utilizariam para explicar alguns movimentos circulares. Com esses dados, foi possível verificar quais palavras aparecem predominantemente nas explicações dos estudantes em um primeiro contato com MCU e compará-las, futuramente, ao reaplicar tal formulário num contexto em que os alunos já tiveram contato com as aulas de MCU.

Ressalta-se que a professora aplicadora da SD avisou aos alunos que o questionário não fazia parte da avaliação quantitativa vinculada à menção do bimestre na disciplina de física e que seria somente para um levantamento prévio para a próxima aula. Desse modo, frisou-se que não havia respostas certas ou erradas, assim como que não era necessário que eles buscassem informações externas para responder às perguntas. Ainda, os alunos tiveram um prazo de uma semana para responder esse questionário, devendo-se considerar que, dos 54 alunos que compõem essas turmas, 33 responderam esse formulário. Para a análise das

respostas desse questionário, serão destacadas adiante algumas respostas, com trechos em negrito para fins de evidenciar algumas associações feitas pelos alunos, seja com a própria física, considerando elementos do MCU, ou com a astronomia, podendo também ter relação com algum contexto específico da aula anterior ou até mesmo com elementos externos presentes no cotidiano dos estudantes.

A primeira questão do questionário era dissertativa e pedia para que os estudantes descrevessem o movimento de um “GIF”, que apresentava o movimento circular de uma bola azul em torno de uma bola vermelha, a qual se encontrava no centro da circunferência, com o objetivo de levantar os termos que os alunos utilizariam para descrever o movimento circular antes das aulas sobre MCU. De pronto, observou-se que alguns estudantes trouxeram referências a temas da astronomia, mostrando uma possível relação com a viagem de estudo de meio à cidade de Itu, São Paulo, que foi um momento de contextualização da SD, ou também com os temas da astronomia com os quais eles já haviam estabelecido algum contato antes das aulas da SD, seja em séries escolares anteriores ou em suas respectivas vidas a partir de filmes, leituras pessoais etc. A seguir, serão apresentadas algumas dessas respostas:

*A1: A bola azul está **orbitando** a vermelha.*

*A3: Um corpo está dando a volta em outro. **Parece o movimento que a Terra faz em volta do Sol.***

*A4: ... Esse esquema pode também representar um tipo de trajetória, que na física é chamada de **órbita**.*

*A5: **Translação da terra.***

Vale evidenciar, também, algumas respostas dos estudantes que relacionaram alguns termos usados para o estudo do MCU a fim de descrever o movimento observado no âmbito da Questão 1, trazendo, assim, uma característica mais física para as suas descrições:

*A6: A bolinha azul está se **movimentando circularmente pelo arco** enquanto a vermelha faz papel de ponto central da circunferência.*

*A7: Uma bolinha está girando em volta de outra bolinha sem se afastar ou aproximar do centro e **sem variar a velocidade**.*

*A8: Uma bolinha está circulando outra bolinha, mantendo uma **distância e velocidade constante**.*

A Questão 2, também dissertativa, pedia para o aluno descrever o movimento observado em um “GIF”, que apresentava o movimento circular de duas bolinhas azuis

em torno de um mesmo centro, porém, considerando trajetórias com raios diferentes, sendo uma mais próxima do centro e outra mais distante, o que fazia elas terem velocidades angulares iguais e velocidades lineares diferentes. Tal questão foi aplicada visando verificar se os alunos conseguiam perceber que as bolinhas giravam com a mesma velocidade angular e que, para isso acontecer, a bolinha externa precisava realizar esse movimento com maior velocidade de translação do que a bolinha interna. Dessa maneira, uma parcela significativa dos estudantes utilizou a diferença da velocidade linear para diferenciar os movimentos no âmbito da Questão 2, mas ainda sem fazer uso do termo “linear”, evidenciando a provável ausência de conhecimento sobre conceitos estudados ao longo das aulas sobre MCU. A seguir, estão expostas algumas respostas que evidenciam essa relação:

*A1: Duas bolinhas estão girando, orientando-se pelo mesmo ponto “+”, em **velocidades diferentes**.*

*A9: A bolinha de fora está **girando mais rápido do que a bolinha de dentro**. Observo que **as bolinhas estão sempre alinhadas, mesmo com velocidades diferentes**.*

*A8: Existem duas bolinhas opostas uma da outra a uma determinada distância. Elas ficam rodando, mas sempre presas a um ponto no meio. **Devido à segunda bolinha estar mais longe, é necessário que ela esteja mais rápida para sempre estar do lado oposto da outra bola**.*

*A3: O centro seria o “+”. Existem duas órbitas ao seu redor, em **velocidades diferentes**. **Uma está mais próxima do centro, e vai mais devagar, e outra, mais distante, indo mais rápido**.*

*A10: Existem duas bolinhas, as duas estão girando em torno de um mesmo ponto. A primeira bolinha está mais próxima do centro e a segunda está mais distante do centro. **As duas completam o trajeto no mesmo intervalo de tempo**.*

As Questões 3 e 4 apresentavam os mesmos “GIFs” vistos nas Questões 1 e 2, respectivamente, no entanto, agora com uma diferença no enunciado, que pedia para que o aluno tentasse reescrever os movimentos com termos mais científicos. O objetivo aqui era tentar contrapor possíveis respostas muito objetivas das Questões 1 e 2, tais como: **(i)** “Uma bolinha girando”; e **(ii)** “duas bolinhas rodando”. Tentava-se, dessa maneira, estimular ou induzir o aluno a desenvolver essas descrições de uma forma mais elaborada e utilizando termos científicos. Nessa linha, compara-se adiante, considerando as respostas dos estudantes às Questões 1 e 3 e a exposição destas no âmbito do Quadro 4, evidenciando-se, desse modo, a diferença nas

respostas a partir do uso de termos mais científicos para descrever os mesmos movimentos observados:

A7:

Questão 1: **Uma bolinha** está **girando** em volta de outra bolinha sem se afastar ou se aproximar do centro, e **sem variar a velocidade**.

Questão 3: **Um corpo** está se **movendo de forma circular, com velocidade uniforme**, e sem variar a distância do centro em volta de um ponto (que está no centro).

A9:

Questão 1: A bolinha azul está **girando em torno do núcleo** (bolinha vermelha).

Questão 3: A bolinha azul está **descrevendo um movimento circular** em torno do núcleo (bolinha vermelha), que está imóvel.

A13:

Questão 1: **Um objeto está orbitando o outro**.

Questão 3: O objeto azul sofre a influência da **força gravitacional** do objeto vermelho, fazendo com que o objeto azul percorra uma trajetória ao redor do vermelho.

A14:

Questão 1: **Um corpo está girado em torno do outro**.

Questão 3: **Isso pode representar o movimento de translação**.

Adiante, o Quadro 4 evidencia as diferenças entre as respostas das Questões 1 e 3, destacadas anteriormente:

**Quadro 4** – Comparação entre as respostas das Questões 1 e 3

Questão 1*	Questão 3**
Uma bolinha	Um corpo
girando	movendo de forma circular
sem variar a velocidade	com velocidade uniforme
girando em torno do núcleo	descrevendo um movimento circular

Questão 1*	Questão 3**
Um objeto está orbitando o outro	O objeto azul sofre a influência da força gravitacional do objeto vermelho
Um corpo está girando em torno do outro	Isso pode representar o movimento de translação

\* A Questão 1 buscava conhecer a descrição dos alunos sobre os movimentos observados.

\* A Questão 3 buscava conhecer a descrição dos alunos sobre os movimentos observados, mas agora com termos mais científicos.

Fonte: Elaborada pela autora.

A comparação entre as Questões 2 e 4 não trouxe uma variação em relação à comparação das Questões 1 e 3 e, portanto, não foram evidenciadas.

A Questão 5 repetia o “GIF” observado no âmbito das Questões 1 e 3, mas agora considerando o seguinte enunciado: “Se você tivesse que descrever a situação abaixo para uma pessoa cega, como você faria? Que analogias você consegue estabelecer para essa explicação?”. A intencionalidade dessa pergunta era capturar analogias de movimentos circulares presentes no cotidiano dos alunos como alternativa para explicar isso para uma pessoa que não enxerga, entretanto, as respostas em sua grande maioria foram repetições das respostas da Questão 1, isto é, foram muito genéricas, por exemplo: “Uma bolinha azul está andando em um caminho circular em volta de uma outra bolinha do mesmo tamanho, mas vermelha”. Verificasse, dessa forma, que não há nenhuma analogia a possíveis movimentos circulares presentes no cotidiano dos estudantes, como roda de bicicleta e/ou carro, engrenagens e/ou ponteiros de um relógio, logo, assim como no caso das Questões 2 e 4, também não vale a pena destacar as respostas da Questão 5.

Todas as aulas da SD foram ministradas com auxílio de apresentações de *slides*, as quais, na ausência da lousa da sala de aula, cumpriram o papel de apresentação dos conteúdos em estudo e organização curricular dos alunos, inseridos no novo modo de habitar o espaço escolar, isto é, o ensino à distância. Uma lousa digital também foi utilizada em todas as aulas com a função específica de apresentar e resolver exercícios. Ressalta-se aqui a importância de o leitor ter em mãos as apresentações de *slides* das aulas, as quais estão presentes no produto educacional (Apêndice 10), para que considere os “GIFs”, vídeos e simuladores mencionados em alguns *slides* específicos às descrições das aulas a seguir.

### 3.3.1 Aula 1 – Introdução ao MCU: Período e Frequência

A primeira aula da SD foi realizada em 23 de outubro de 2020 e a mudança para o formato à distância permitiu que os simuladores fossem muito mais explorados do que a programação inicial, uma vez que tal recurso digital passou a ter papel principal na mediação entre a professora aplicadora da SD e os estudantes. Pensada para o formato presencial, esta aula tinha uma dinâmica diferente, sendo que o uso do simulador seria menos intenso, o qual serviria somente como um modo de exemplificar os conceitos físicos estudados no processo final da apresentação dos conceitos, e não como mediador na apresentação e construção desses conceitos. Tal mediação tinha sido pensada a partir da condução de diálogos entre a professora aplicadora da SD e os estudantes com o amparo de perguntas disparadoras e, se aplicável, do repertório particular individual dos estudantes.

Conforme visto no capítulo anterior, esta aula tinha como objetivo a apresentação dos conceitos de “período” e “frequência”, sendo que a seguir serão apresentadas as transcrições de algumas falas dos estudantes, que mostram a construção de apresentação desses conceitos a partir da observação das órbitas de quatro planetas, quais sejam: Mercúrio, Vênus, Terra e Marte. Sobre a participação dos estudantes nesta primeira aula, têm-se que 7 estudantes participaram das discussões e esse número praticamente se manteve constante durante todo o processo nesse formato à distância, cabendo sinalizar que os possíveis motivos para que esse número seja razoavelmente pequeno frente ao número de alunos que compõem essas turmas já foram elencados no item 3.2 deste capítulo.

Antes de começar a construir os conceitos de “período” e “frequência” a partir da observação das órbitas dos planetas em torno do Sol, um treinamento de observação dessas órbitas foi conduzido com os alunos com o auxílio de um simulador “Gravidade e Órbitas<sup>3</sup>” para que eles pudessem aproximar o formato dessas órbitas com o MCU, uma vez que, ao olhar para essas órbitas, elas se parecem muito mais circulares do que elípticas devido à baixa excentricidade. De início, foi observado no simulador o movimento de um planeta em torno de uma estrela e, em seguida, a

---

<sup>3</sup> O simulador “Gravidade e Órbitas” pode ser acessado por meio do seguinte link: [https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-and-orbits/latest/gravity-and-orbits\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-and-orbits/latest/gravity-and-orbits_pt_BR.html).

professora aplicadora da SD adicionou um satélite orbitando o referido planeta para mostrar dois movimentos, aparentemente circulares, ao mesmo tempo.

Então, olhando para esses movimentos (planeta girando em torno da estrela e satélite girando em torno do planeta), foi possível concluir com os estudantes que eles pareciam realizar movimentos circulares. Assim, os alunos foram questionados sobre essa hipótese a partir de seus estudos anteriores às aulas da SD. Essa construção será apresentada a seguir a partir dos seguintes trechos transcritos:

*P: As órbitas são perfeitamente circulares, o que vocês acham? Alguém que já tenha estudado um pouco de astronomia ou de sistema solar, pode me dizer se isso é ... Deixa eu ver se é aqui, vamos ver esse movimento, é sempre movimento circular? Falem aí para mim?*

*A10: Normalmente é uma elipse, né.*

*P: É.*

*A10: Aí a estrela fica em uns dos centros.*

*P: Da elipse, certo. Tipo esse daqui que está agora [mostrando no simulador].*

*A10: É.*

*P: Então aqui eu tenho um rosinha com movimento bem circular e tem esses outros, azul e verde, que estão mais elipsados. Tem coisas no sistema solar que têm órbitas elípticas com a excentricidade grande, que a gente diz que quanto mais achatadinha ela for, mais excentricidade tem a elipse. Mas os planetas em si, eles têm a órbita bem pouco elipsada, ou seja, eles são uma boa aproximação de um movimento circular. Se você pegar só essa linha rosa, se você pegar esse movimento aqui, ele parece mais uma elipse ou um círculo?*

*A2: Um círculo.*

*P: E os movimentos dos planetas, eu vou colocar aqui as órbitas, vocês vão ver que eles são muito mais círculos do que elipses. Eles não são círculos perfeitos, tá? Por isso que a gente fala que a órbita é uma elipse, mas ela também não é uma elipse com alta excentricidade, portanto, ela pode ter uma grande aproximação com um círculo.*

Analisando esses trechos, pode-se identificar a construção em que os alunos aproximam as órbitas planetárias de trajetórias circulares, em vez de trajetórias elípticas, o que é uma ferramenta essencial para iniciar os estudos de “período” e “frequência” a partir da observação desses movimentos dos planetas e de suas órbitas. Isso é essencial em vista de que há tantos livros didáticos e sites que mostram as órbitas dos planetas (em especial a órbita da Terra) em torno do Sol com figuras que mostram uma alta excentricidade das órbitas para demonstrar, por exemplo, a primeira lei de Kepler ou até mesmo as estações do ano.

À vista disso, na sequência a aula caminha para o início da construção do conceito de “frequência” do MCU, sendo que os estudantes foram questionados pela professora aplicadora da SD sobre as diferenças que podem existir dentro do MCU, conforme trechos abaixo:

*P: Os movimentos circulares são todos iguais? O que vocês acham? Tudo que se movimenta circularmente, movimenta-se idêntico em todos os âmbitos possíveis? Sim ou não?*

*A2: Não.*

*A18: Acho pouco provável.*

*P: Pouco provável? O que vocês acham que pode mudar de um movimento circular?*

*A18: O sentido, a velocidade.*

*P: Então, pode-se girar com velocidades diferentes, é isso?*

*A6: Pode.*

*P: E, além disso, pode ter dois sentidos, basicamente, o sentido horário e o sentido anti-horário.*

Revela-se pelas falas dos estudantes que aqui eles já conseguiam distinguir o MCU pelas diferenças de velocidades e sentidos. Em continuidade à aula, a professora aplicadora da SD utilizou o simulador “Solar System Dynamics<sup>4</sup>” para começar uma discussão a fim de que os estudantes estabelecessem uma relação entre “período” e “frequência” a partir da observação do movimento dos planetas em torno do Sol. A seguir, está transcrita a referida discussão, evidenciando o caminho percorrido pelos estudantes, com apoio da mediação da professora aplicadora da SD, até o conceito de “frequência”:

*P: Bom, aqui eu coloquei os planetas para orbitar, a forma como eles estão, então eles giram ao redor do Sol com alguma velocidade e a primeira pergunta que eu quero fazer é: “Eles giram com a mesma velocidade?”. Vamos olhar aqui para Mercúrio, Vênus e Terra, que são os que dão pra ver aqui na tela. O que vocês acham?*

*A2: Para mim, parece que não. Mercúrio parece que vai mais rápido.*

*P: Mercúrio parece que vai mais rápido, e Vênus? E Vênus em relação à Terra?*

*A10: Parece que é um pouquinho mais rápido também.*

*A2: E a Terra é um pouco mais devagar.*

*P: A Terra é um pouco mais devagar do que Vênus e que Mercúrio. E em relação a Marte?*

*A10: É mais rápida.*

---

<sup>4</sup> Este simulador está disponível no site da NASA.

*P: O que mais difere além da velocidade? O que é a implicação pela velocidade ser mais rápida, na verdade.*

*A16: O tamanho das órbitas.*

*P: O tamanho das órbitas. Então Mercúrio tem um círculo menor do que Vênus que tem um círculo menor do que ... então, na verdade, a trajetória deles é, em relação a quilômetros ou a metros, a distância em que eles percorrem pra completar esse movimento, ela é diferente entre eles, cada um tem uma órbita de tamanho diferente, certo? Fora isso, que mais, o que eles têm de diferente?*

*A16: Não sei se tá certo, mas tava pensando que os planetas têm tamanhos e pesos diferentes, isso não implica em alguma coisa?*

*P: Ah, eles têm massas diferentes entre eles, né?*

*A16: Isso.*

*P A gente já percebeu que o tamanho da circunferência é diferente para cada planeta. A velocidade é diferente para cada planeta, apesar de todas as órbitas serem circulares e o tamanho deles também é diferente. Será que isso influencia nesse movimento que eles tão fazendo ao redor do sol? O fato de ser maior ou menor em relação à massa, será que isso influencia? Eu posso dizer que o tempo que eles levam para dar uma volta ao redor do Sol, é sempre a mesma?*

*A10: Não, a Terra demora mais que Vênus para completar o trajeto.*

*P: Certo. Então, Vênus que tá um pouco antes, mais perto do sol, ele dá uma volta num tempo menor do que a Terra. Foi isso que você falou?*

*A10: É.*

*P: Certo! E se a gente ... Pode falar, quem que abriu o microfone?*

*A6: Eu! Eu ia perguntar se eles têm que tá na mesma velocidade, mas como o diâmetro, não sei, da circunferência ser diferente, ele demora mais?*

*P: Ah tá. Se eles estivessem todos na mesma velocidade, a rota de comprimento maior, sua pergunta é, se a rota de comprimento maior demoraria mais para dar uma volta, é isso?*

*A6: Não, é se eles podem estar na mesma velocidade, mas pelo fato de algumas circunferências serem maiores, eles não ... é ... fazerem as voltas tudo juntos?*

*P: Sim, né, porque se você pensar, eu tenho um círculo de comprimento de 5 metros e outro de 10 metros, ou seja, o dobro se eu andar na mesma velocidade, o que que vai acontecer? Um vai ser mais rápido que o outro, né?! Ele vai completar a volta num tempo menor, então, se todos estivessem na mesma velocidade, ainda assim, eles fariam essas voltas em tempos diferentes, né? Justamente porque cada comprimento de círculo aqui é diferente um do outro. Você tá certa. O que que eu posso dizer, e esse tempo que esses planetas demoram para girar em torno do sol, a gente chama do que?*

*A6: A frequência?*

*P: A frequência é um ... como que você definiria "frequência"?*

*A6: Quantas voltas que ele dá em um determinado tempo.*

*P: Quantas voltas ele dá em um determinado tempo, é isso. Pensando em Mercúrio e Vênus, quem tem a maior frequência?*

*A16: Mercúrio?*

*P: Mercúrio, porque se eu pegar o mesmo intervalo de tempo, quem que dá voltas, quem que dá mais voltas, né? Mercúrio. Se eu pegar Marte e Terra, quem tem frequência maior?*

*A16: A Terra.*

É possível notar nesse percurso que, para a nomeação do conceito de “frequência” do MCU, foi fundamental que o simulador “Solar System Dynamics” ficasse na tela durante toda a discussão para que os alunos pudessem observar esses movimentos e criar as relações que estavam a todo momento sendo estruturadas pela professora aplicadora da SD. Também, verifica-se que os estudantes chegaram ao conceito de “frequência” a partir da observação dos movimentos dos planetas, evidenciando aqui uma inversão do que geralmente é feito pelos professores que adotam um modo tradicional de ensino, no qual primeiramente se apresenta o conceito de “frequência” do MCU e, somente depois, exemplos em que se vê esse conceito na prática são trazidos.

Adiante, está a transcrição dos trechos que mostram a construção do conceito de “período” para corpos que realizam MCU:

*P: Então, o planeta que tá mais próximo ali, está mais rápido, então ele completa uma volta num tempo menor do que os outros? Se eu for comparar o tempo que Mercúrio demora para dar uma volta no Sol e o tempo que a Terra demora para dar uma volta no Sol, quem demora menos?*

*A2: Entre quem?*

*P: Mercúrio e Terra. Quem demora menos para dar uma volta no Sol?*

*A2: Mercúrio.*

*P: Mercúrio, né? Então, entre a frequência e o período, existe uma relação inversamente proporcional. Por quê? O que que é “período”? Que é o segundo conceito que a gente vai ver na aula de hoje. “Período” é o tempo de uma volta, então, vamos pensar na Terra. A Terra demora quanto tempo para dar uma volta no Sol?*

*A16: ... Qual é a unidade de medida que a gente tem que responder isso?*

*P: Tempo?*

*A16: É.*

*P: Pode ser em anos, pode ser em dias, pode ser em segundos ...*

*A7: A Terra demora 1 ano para dar uma volta no Sol.*

*A16: 1 ano.*

*P: 1 ano, então, eu digo no movimento circular que o período da Terra é 1 ano em torno do Sol. Então, esse conceito de “período”, o que que ele é? A definição dele é o tempo que o corpo demora para realizar uma volta, ou seja, para sair de um lugar e voltar para esse lugar. Todo mundo consegue enxergar que esse movimento é repetitivo, né? Ele é periódico, por isso que a gente o chama de movimento periódico, pois são movimentos que se repetem após um determinado período.*

Nesses trechos, pode-se observar que a determinação do conceito de “período” do MCU ocorreu a partir da continuidade da discussão anterior, uma vez que, ao se entender que os planetas giram em torno do Sol com velocidades diferentes, tamanho de órbitas diferentes e, conseqüentemente, frequências diferentes, era preciso somente nomear que há um nome específico para o tempo de uma volta completa e, assim, nomear o conceito de “período” do MCU.

Ao finalizar essa análise, a relação entre “período” e “frequência” também foi construída a partir da discussão em sala de aula, a qual é apresentada no âmbito das transcrições a seguir:

*P: Então, a Terra, ela gira em torno do Sol no tempo de 1 ano, aproximado, aliás, 1 ano terrestre que seriam 365 dias e algumas horas.*

*A6: Então, sempre quem tiver o menor período vai ter maior frequência?*

*P: Exatamente. Sempre quem tiver o menor período, significa que ele volta rapidinho, portanto, a frequência dele é alta, por isso que eles são inversos. Então um é o inverso do outro proporcionalmente, que a gente diz que eles são inversamente proporcionais. Quando um aumenta, o outro diminui, quando o outro diminui, o outro aumenta, e assim sucessivamente. Então, eu posso classificar esses planetas aqui, todos como movimento circulares, mas com duas coisas que diferem eles, período e, conseqüentemente, frequência, além do tamanho da órbita, que também é diferente para cada um, e o tamanho do planeta, que também é diferente, eles têm tamanhos diferentes.*

No âmbito desses trechos transcritos, vê-se que o estudante “A6” estabelece a relação entre “período” e “frequência” de modo fluido a partir das discussões levantadas para a determinação dos conceitos dessas grandezas, demonstrando não somente a internalização desses conceitos, mas também a capacidade de os expressar. Ressalta-se, ainda, que em todos os momentos dessas discussões a nomeação dos conceitos pela professora aplicadora da SD ocorreu depois que as grandezas foram percebidas e caracterizadas pelos estudantes, reforçando, desse modo, o objetivo principal deste trabalho, isto é, fazer o estudo da astronomia atuar

como protagonista na construção dos conceitos físicos do MCU, tornando-se, assim, o principal objeto de estudos sobre o tema.

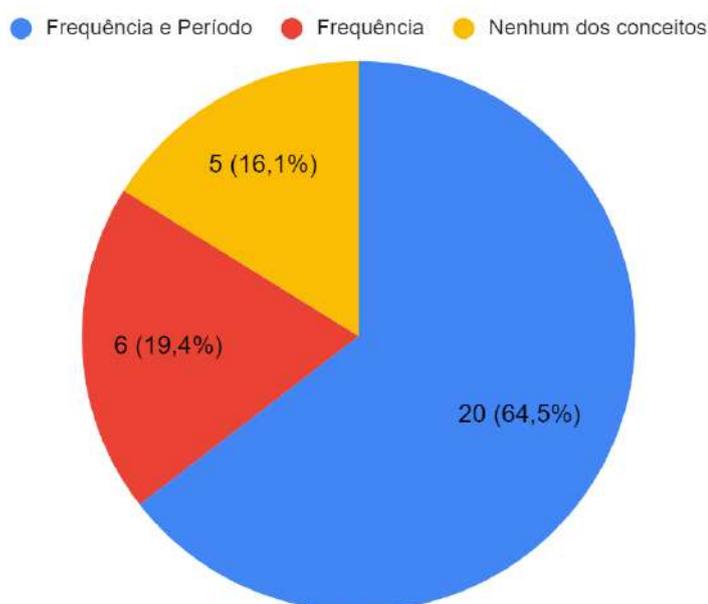
Com base em todas essas reflexões, o Slide 6 que compõe a apresentação desta aula expõe uma tabela de classificação dos planetas em função dos seus períodos, demonstrando-se a relação entre a órbita e o período de cada planeta, bem como exibindo, em valores numéricos, qual é o período de cada planeta do sistema solar. Tal tabela possibilita que os estudantes entendam que aqueles números representam o conceito físico de “período” de um MCU e concretizem os conceitos construídos até aquele momento desta aula.

Ainda, o Slide 9 da mesma apresentação exhibe **(i)** a formulação da frequência enquanto o número de oscilações por um determinado intervalo de tempo (cuja unidade de medida de acordo com o Sistema Internacional de Unidades – SI é o Hertz quando o intervalo de tempo é medido em segundos); e **(ii)** a formulação matemática que relaciona os conceitos de “período” e “frequência” também são mostrados neste slide. Vale ressaltar, contudo, que todas essas formulações matemáticas devem ser apresentadas aos alunos depois de toda a construção conceitual realizada por intermédio das discussões sobre as órbitas planetárias observadas pelos estudantes com apoio dos simuladores, reforçando-se aqui, mais uma vez, a inversão da lógica do ensino mais tradicional, na qual as formulações matemáticas dos conceitos geralmente antecedem os exemplos e as contextualizações.

No término desta aula, foi sugerida a resolução de 2 exercícios de fixação durante a aula, isto é, de forma síncrona, presentes no Slide 10 da referida apresentação e referentes aos conceitos de “período” e “frequência”, a fim de que os alunos pudessem conhecer qual é a estrutura de um problema que trabalha tais conceitos, relacionando-os com objetos do cotidiano, como **(i)** uma escova elétrica que rotaciona numa determinada frequência; e **(ii)** a oscilação de uma estrutura de prédio por consequência de ventos muito intensos. Esses exemplos foram escolhidos intencionalmente para estimular que os estudantes a reflitam também, após as associações de conteúdos por meio da astronomia, sobre outros exemplos de movimentos, também circulares, presentes em seu cotidiano, inclusive quanto a objetos que realizam MCU.

Para avaliação desses conceitos, foi proposta uma atividade avaliativa (Apêndice 2) contendo 2 exercícios, quais sejam: **(i)** o primeiro propondo o cálculo dessas grandezas; e **(ii)** o segundo com um viés teórico para diferenciar, entre corpos que realizam MCU, quais deles têm maior frequência e período. No âmbito desta primeira atividade avaliativa, 31 respostas foram obtidas, sendo que a seguir são apresentados os resultados quantitativos das respostas para a primeira questão (Gráfico 1), bem como uma análise qualitativa das respostas para a segunda questão.

**Gráfico 1** – Número de estudantes que acertaram os conceitos de “frequência” e “período”.



Fonte: Elaborado pela autora.

- 20 estudantes (64,5%) acertaram tanto o cálculo de frequência quanto o de período;
- 6 estudantes (19,3%) acertaram somente o cálculo de frequência; e
- 5 (16,2%) estudantes erraram ambos os conceitos.

Estes resultados mostram que a maioria dos estudantes conseguiram estabelecer a relação dos conceitos de “frequência” e “período” com a formulação matemática de forma efetiva.

Por sua vez, a segunda questão perguntava aos alunos quais eram os planetas com maior frequência e período considerando um “GIF” que mostrava o movimento

dos planetas Mercúrio, Vênus, Terra e Marte em torno do Sol. Dos 31 estudantes que responderam à segunda questão, 28 estudantes (90%) acertaram ambos os conceitos, relacionando-os, em sua grande maioria, com auxílio das construções realizadas no âmbito das discussões mediadas pela professora aplicadora da SD, conforme já descrito anteriormente neste mesmo subcapítulo. A seguir, serão apresentados trechos transcritos das respostas dos alunos para análise qualitativa da segunda questão da primeira atividade avaliativa:

*A14: Mercúrio tem a maior frequência, pois ele dá mais voltas no período de tempo estipulado. E Marte tem o maior período, pois ele é o que leva mais tempo para dar uma volta completa em torno do Sol.*

No trecho transcrito, observa-se que o estudante justificou sua resposta com apoio das definições construídas durante a aula, sendo que a frequência corresponde ao número de voltas em um determinado tempo, enquanto o período é o tempo de uma volta. Alguns estudantes, por outro lado, justificaram suas respostas com base nos tamanhos dos raios das órbitas, conforme se vê adiante:

*A7: O planeta com o maior período é Marte, pois é o que tem a maior órbita e, por isso, o que mais demora para completar uma volta. O planeta com a maior frequência é Mercúrio, pois possui a menor órbita, o que faz com que a quantidade de voltas que ele dá num período de tempo seja muito maior do que a dos outros planetas.*

Ainda, outros estudantes justificaram suas respostas a partir do conceito de “velocidade linear”, mesmo que ainda não tivessem estudado esse conceito formalmente nas aulas de física:

*A15: Período: Marte tem o maior período porque cada volta dele leva mais tempo do que os outros planetas. Frequência: Mercúrio tem a maior frequência porque cada segundo ele percorre mais espaço.*

A partir da análise dos trechos destacados anteriormente, afirma-se, com bastante segurança, que a forma como os conceitos de “frequência” e “período” foram introduzidos é relevante como fator de contextualização desses conceitos com relação ao MCU, visto que a maioria das respostas os alunos estão corretas e se baseiam na construção das discussões feitas durante a aula para justificar seus argumentos. Também, é possível destacar a diferença do percentual de acertos verificado entre a primeira e a segunda questões, sendo 65% e 90%, respectivamente, o que pode ter ocorrido pela falta de habilidade de alguns alunos em manipular matematicamente os

números a partir da formulação desses conceitos, visto que a maioria dos estudantes errou ao realizar a divisão  $1/T$  para determinar o período a partir da frequência.

### 3.3.2 Aula 2 – MCU

A segunda aula síncrona da SD aconteceu em 30 de outubro de 2020, uma semana depois da primeira aula da SD, e nela foram trabalhados: **(i)** a princípio, as unidades de medida angulares, radianos e graus, mostrando, além dos seus significados, a sua relação matemática de conversão; e **(ii)** em seguida, os estudos de MCU a partir dos conceitos de “velocidade angular” e “velocidade linear” dos corpos. A professora aplicadora da SD iniciou uma discussão para que os estudantes conseguissem construir os conceitos de “velocidade angular” e “velocidade linear” por meio de “GIFs” que mostram, respectivamente, o planeta Terra girando em torno do Sol e uma bolinha vermelha presa a um fio girando em torno de um ponto, generalizando, assim, o MCU a partir das relações estabelecidas com apoio dos “GIFs”. As transcrições dos diálogos em aula dispostas a seguir revelam a forma como ocorreu a construção dos conceitos de “velocidade angular” e “velocidade linear”, respectivamente:

*P: Como que a gente cria um método para calcular a velocidade da Terra nesse movimento circular que ela realiza em torno do Sol?*

*A7: Radiano por segundo? Ou não?*

*P: O que é radiano por segundo? No fundo ... o que você tá dizendo?*

*A7: Graus por segundo.*

*P: Quantos graus ele ...*

*A11: Percorre.*

*P: Quantos graus ele percorre?*

*A7: Em 1 segundo.*

*P: Em quanto tempo?*

*A7: É.*

*P: Então você tá dando uma medida que vai calcular a velocidade dele em relação aos graus que ele anda, né ... Tem algum outro jeito?*

*A6: Período?*

*P: Que que tem o período?*

*A6: Se você tem o tempo e a frequência, você descobre o período.*

*P: Certo.*

*A10: Se você tiver o perímetro, você pode calcular em metros por segundo.*

*P: Legal! E como eu calculo o perímetro, então?*

*A10: É  $2.\pi.R$ .*

No trecho transcrito, os estudantes construíram a definição dos conceitos de “velocidade angular” e “velocidade linear”, respectivamente, a partir dos conceitos apresentados anteriormente, isto é, a unidade de medida “radianos”, introduzida no início desta aula, e o conceito de “período”, tema da primeira aula, possivelmente mostrando, assim, que esses conceitos foram minimamente concretizados por eles, o que permitiu que eles fizessem novas relações a partir disso. Em seguida, o estudante “A16” fez um questionamento importante sobre a relação da força gravitacional que atua no planeta Terra, considerando a sua velocidade de translação, sendo que a professora aplicadora da SD estabeleceu a relação necessária para responder a tal pergunta com apoio da fala do estudante “A10”, conforme segue:

*A16: Mas ... Eu tô pensando aqui que para calcular a velocidade da Terra, a gente não deveria incluir a distância que ela tá do Sol? Isso não influencia em alguma coisa?*

*P: O que é a distância que ela tá do Sol? Olhando nessa figura?*

*A11: O raio.*

*P: O raio. Vai entrar, né, por exemplo, para você colocar o perímetro, como o A10 disse, que a fórmula é  $2.\pi.R$ , depende do raio, depende da distância que tá do Sol.*

*A16: Ah, então tá, obrigada.*

*P: Então é isso, é uma dependência.*

A partir da análise desse trecho, constata-se que o estudante “A16” consegue relacionar um conceito da astronomia, isto é, a força gravitacional entre o planeta Terra e o Sol, como um fator de impacto para pensar o conceito de velocidade dentro do MCU, demonstrando, dessa maneira, mais uma vez a relevância do objeto de estudos deste trabalho. Depois dessa construção dos conceitos de “velocidade angular” e “velocidade linear”, a professora aplicadora da SD apresentou formalmente a velocidade escalar e a velocidade angular (Slide 4 e 5, respectivamente, da apresentação utilizada nesta aula), mostrando suas formulações e respectivas unidades de medida. No Slide 6 da mesma apresentação, as condições para que um movimento circular seja considerado uniforme foram indicadas, tendo suas velocidades escalar e angular constantes, sendo que a variação da posição angular foi apresentada no Slide 7 da referida apresentação.

Logo após, um tempo de 10 minutos foi concedido pela professora aplicadora da SD para que os alunos respondessem uma atividade (Apêndice 3), cujo objetivo era avaliar os conceitos de velocidade do MCU vistos nesta aula. Os estudantes foram avisados que essa avaliação não fazia parte da avaliação bimestral da disciplina de física e que, portanto, eles poderiam responder realmente o que achavam sobre aquelas perguntas. Esse questionário foi pensado a partir da necessidade de colher dados frente à baixa frequência de participação dos alunos durante as aulas realizadas de forma remota, o qual permitia que os alunos pudessem expor suas ideias de um jeito particular, sem a necessidade de se expor diante dos colegas.

Tal questionário era composto por 2 perguntas, sendo que a primeira mostrava exatamente o mesmo “GIF” utilizado na primeira atividade avaliativa, proposta aos alunos no âmbito da primeira aula, que mostrava os 4 primeiros planetas girando em torno do Sol e questionava quais deles tinham maior frequência e período e maior frequência. A primeira questão da atividade aplicada nesta aula, entretanto, contava com cinco alternativas, exigindo que os estudantes relacionassem os movimentos dos planetas a partir de suas velocidades angulares, evidenciando, dessa forma, a relação entre “velocidade angular” e “período”. O questionário foi respondido por 25 estudantes respondera, entre os quais:

- 11 estudantes (44%) responderam que Vênus possui velocidade angular maior que a Terra;
- 7 estudantes (28%) responderam que Mercúrio possui a menor velocidade angular entre os 4 planetas;
- 4 estudantes (16%) responderam que não sabiam; e
- 3 estudantes (12%) responderam que a Terra possuía velocidade angular maior que a de Vênus.

A segunda questão trazia 2 corredores, “A” e “B”, que estão realizando MCU com raio diferentes, sendo a trajetória do corredor “A” interna à trajetória do corredor “B” e perguntava sobre a velocidade escalar desses corredores, considerando que ambos tinham o mesmo período e relacionando diretamente a velocidade escalar com o raio da trajetória. Segue abaixo o panorama quantitativo das respostas recebidas:

- 12 estudantes (48%) responderam que o corredor “B” tem velocidade escalar maior e mesma velocidade angular que o corredor “A”;
- 10 estudantes (40%) responderam que os dois corredores possuem mesma velocidade angular e escalar; e
- 3 estudantes (12%) responderam que o corredor “A” possui velocidade escalar maior e velocidade angular menor que o corredor “B”.

Diante desses resultados, conclui-se que uma parte consideravelmente grande dos estudantes conseguiu concretizar os conceitos de “velocidade angular” e “velocidade escalar” imediatamente após sua construção, bem como apresentar suas respectivas fórmulas mesmo sem a apresentação prévia de exercícios mostrando as relações matemáticas desses conceitos na prática.

Em seguida, a professora aplicadora da SD fechou o formulário de respostas para garantir que as respostas fossem entregues apenas naquele momento exato da aula e, ainda durante a aula síncrona, apresentou, no âmbito do Slide 8 presente na apresentação utilizada para esta aula, a relação entre as velocidades angular e escalar e o raio da trajetória, corrigindo os exercícios de forma dialogada com a participação dos alunos, que puderam naquele momento tirar suas dúvidas e corrigir seus erros. A professora aplicadora da SD também corrigiu os exercícios da atividade avaliativa aplicada na primeira aula, sobre período e frequência, para que os alunos também pudessem olhar para esse conjunto de questões de um modo generalizado e unificado já tendo esses conceitos mais estabelecidos em suas mentes. Esse momento se mostrou importante porque alguns alunos ainda estavam confusos quanto à relação entre período e velocidade angular, tendo em vista que o raio da trajetória influenciava diretamente na velocidade escalar desses exemplos, e a professora aplicadora da SD pôde esclarecer essas dúvidas, sendo que o entendimento desses conceitos era um pré-requisito para que os alunos pudessem continuar seus estudos sobre MCU.

### **3.3.3 Aula 3 – Transmissão de MCU**

A terceira aula da SD aconteceu no dia 6 de novembro de 2020 e teve como objetivos principais explicar sobre a transmissão de movimento circular, tanto para corpos conectados com o mesmo eixo como para eixos diferentes, e relacionar o

movimento aparente das estrelas em torno do PSC com a velocidade de rotação da Terra. Para demonstrar de forma mais direta essa transmissão do MCU para os dois tipos de conexão, foram utilizadas imagens e “GIFS” de engrenagens e polias com o intuito de verificar as diferenças das grandezas das velocidades angular e linear para cada caso.

Para que os estudantes pudessem relacionar o movimento aparente das estrelas no céu noturno, enquanto um MCU em torno do PSC, com a velocidade de rotação da Terra foi utilizado um vídeo, disponível no Slide 3 da apresentação desta aula, que mostra várias filmagens do céu em movimento acelerado (em inglês, *time-lapse*) – tanto em período diurno quanto em período noturno – em diversos lugares. Após a visualização do vídeo, foi perguntado aos alunos o que eles viram nesse vídeo com a finalidade de que eles concluíssem que o movimento das estrelas na verdade consiste em um efeito, a partir do referencial do observador, do movimento de rotação da Terra e, com isso, fosse possível trabalhar que era possível calcular a velocidade das estrelas (na verdade, calcular a velocidade de rotação da Terra). A seguir, estão os trechos transcritos desta aula que evidenciam essa construção:

*P: Falem para mim agora, o que vocês viram nessas imagens?*

*A2: Foi o movimento do céu, basicamente porque estava escrito lá.*

*P: Movimento do céu, que mais? Quem tem outras coisas a adicionar?*

*A16: A gente também viu o movimento da Terra em torno de si mesma né ... Ela estava girando.*

*A2: ... Porque quando a gente olha para cima não é exatamente nosso céu que se move, o céu ele vai se movendo, só que não é ele, é a Terra, por isso que ele move.*

*A16: Sim ... Foi isso, basicamente, o que a A2? disse que foi o que eu queria dizer. Não é o céu se movendo de fato e, sim, a Terra.*

*A10: Parece que o movimento da Terra esta transmitido como se fosse um movimento do céu?*

*A2: É, faz bastante sentido.*

Essas transcrições expõem que os estudantes conseguiram relacionar o movimento de rotação da Terra com o movimento aparente das estrelas apenas com a observação do fenômeno por meio do vídeo visualizado, o que é um pré-requisito para que a atividade experimental da SD faça sentido e possa ser realizada por eles. Nessa linha, a professora aplicadora da SD questionou os estudantes para promover uma análise sobre as velocidades angular e linear em relação a diferentes pontos da

superfície da Terra a partir de um “GIF”, presente no Slide 4 da apresentação desta aula, que mostra o planeta Terra e seu movimento de rotação no próprio eixo:

*P: Todos os pontos da Terra têm os mesmos pontos de velocidade angular e linear? Todos os pontos da Terra que eu tô querendo dizer é, um ponto aqui em cima, mais próximo do polo e um ponto aqui no meio que, que seria na linha do Equador mais ou menos. Elas têm as mesmas velocidades linear e angular?*

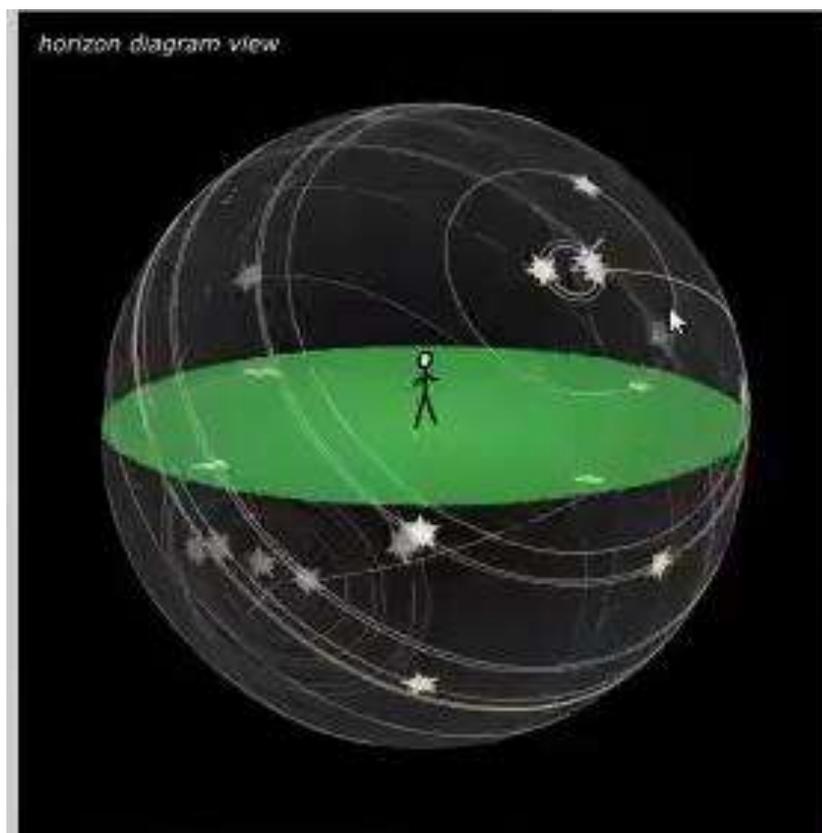
*A7: Não, porque, a velocidade angular, os dois andam 360 graus, mas o perímetro desses 360 graus do polo é muito menor do que o perímetro do meio.*

*A6: A velocidade angular vai ser a mesma e a velocidade escalar da linha do Equador vai ser maior, igual aquele exercício que a gente fez, não é? Do círculo “a” e do círculo “b”, que o “b” que era maior, ele tinha um raio um pouquinho maior e a fórmula da velocidade escalar, utiliza o raio, então, se ele é maior, ela vai ser maior.*

O estudante “A7” evidencia por sua fala que a velocidade angular da Terra será a mesma para qualquer ponto, enquanto a velocidade linear será diferente por diferenças de raio dessas trajetórias, relacionando isso com a definição de velocidades do MCU construídas ao longo da segunda aula. O estudante “A6”, por sua vez, apresenta suas hipóteses se apoiando em referências da segunda aula, mostrando possivelmente uma boa fixação dos conceitos a partir da discussão mediada por simuladores e questionamentos da professora aplicadora da SD, conforme explicitado anteriormente.

Na sequência, a professora aplicadora da SD abriu o simulador “Rotating Sky Explorer” (Apêndice 4), mostrando a esfera celeste em torno da Terra para explicar de que forma escolher um ponto da superfície da Terra, adicionar estrelas na esfera celeste e acionar a função para mostrar a trajetória dessas estrelas com uma linha. Ao colocar o simulador para funcionar, os círculos dessas trajetórias se formando em torno do PSC foram mostrados, conforme Figura 6 a seguir.

**Figura 6** – Captura de tela do simulador da esfera celeste, mostrando a trajetória aparente de estrelas em torno do polo sul celeste.



Fonte: Retirada do simulador “Rotating Sky Explorer<sup>5</sup>”.

O objetivo era que os alunos enxergassem nessas trajetórias aparentes das estrelas o MCU e associassem que, se a velocidade dessas estrelas fosse calculada, em verdade a velocidade de rotação da Terra estaria sendo calculada. Nesse sentido, os alunos observavam o simulador em funcionamento enquanto a professora aplicadora da SD mediava a discussão, conforme se vê adiante:

*P: Posso dizer que as estrelas estão girando com que velocidade? Com que velocidade angular que elas estão girando? Dá para a gente saber?*

*A16: Já que não são as estrelas que estão girando de fato e, sim, a Terra, a gente pode dizer que elas estão girando na velocidade da Terra?*

A fala do estudante “A16” se destaca e propicia a conclusão de que esse movimento aparente das estrelas pode ser lido como uma transmissão do movimento de rotação da Terra para o céu. Dessa maneira, o conceito físico de “transmissão do

<sup>5</sup> O simulador “Rotating Sky Explorer” pode ser acessado por meio do seguinte link: [https://astro.unl.edu/naap/motion2/animations/ce\\_hc.html](https://astro.unl.edu/naap/motion2/animations/ce_hc.html).

MCU” foi construído mais uma vez a partir da observação de um fenômeno astronômico, isto é, com os estudos de astronomia enquanto objetos centrais das aulas da SD. A partir dessa fala, a professora aplicadora da SD apresentou essa transmissão como sendo uma transmissão de movimento em mesmo eixo e, no Slide 6 da apresentação desta aula, mostrou os dois tipos de transmissão com amparo de figuras e “GIFs” que expõem a diferença de uma transmissão de movimento em mesmo eixo (velocidades angulares iguais) e de uma transmissão de movimento em eixos diferentes (velocidades lineares iguais). Ao mostrar esses movimentos, a professora aplicadora da SD questionou os alunos se esses movimentos vistos nos “GIFs” se parecem com algo do cotidiano deles:

*P: O que parece isso aqui? Esses GIFs? Parece alguma coisa que vocês já viram na vida?*

*A7: Uma engrenagem, uma polia?*

*A11: Não aparece a marcha da bike?*

Essas falas evidenciam uma boa aproximação dos conceitos estudados com o cotidiano dos estudantes, visto que eles conseguem relacionar esses movimentos com objetos que fazem parte de sua vida cotidiana, sendo que a professora aplicadora da SD ressalta para os alunos que a aplicação desses conceitos é ampla, os quais estão presentes nas máquinas do cotidiano, nos automóveis etc. Adicionalmente, a professora aplicadora da SD, por intermédio de uma conversa dialogada, indica as formulações que derivam dessas igualdades, explicando, ainda, a razão entre “velocidade linear e raio da trajetória” e por qual motivo esses fatores são iguais para transmissões de movimento em mesmo eixo, bem como o produto da razão “frequência angular e raio das trajetórias” e por qual motivo esses fatores são iguais para transmissões de movimento em eixos diferentes.

Na sequência, foi reaplicado o questionário (Apêndice 5) realizado no âmbito da pré-aplicação da SD, isto é, antes de os alunos iniciarem as aulas sobre MCU, para fins de analisar, nesta aula, a complexidade nas descrições dos “GIFs” após o conhecimento pelos alunos dos diversos conceitos físicos estudados ao longo das aulas até o momento. A seguir, são apresentadas as respostas dos estudantes para o primeiro “GIF”, que mostra uma bolinha azul realizando MCU em torno de um ponto vermelho:

*A18: Uma esfera azul está fazendo um **movimento circular** em volta de um eixo, que está sinalizado por uma esfera vermelha.*

A14: O corpo azul realiza uma **trajetória circular** com **movimento uniforme** em volta do corpo vermelho.

A8: Um objeto está circulando um ponto central com uma **velocidade constante**, assim ele possui um **período e frequência estável**. Isso ocorre devido a ele não variar o formato de órbita do membro central (bolinha vermelha) ou mudar sua velocidade.

A10: Está ocorrendo, aparentemente, um **MCU** por parte do corpo azul em volta do vermelho, o centro da circunferência.

Com base nesses trechos, devendo-se prestar especial atenção nos conceitos físicos destacados em negrito, constata-se uma possível concretização desses conceitos, uma vez que o movimento observado no âmbito do “GIF” corresponde a um movimento bastante abstrato de uma bolinha girando em torno de outro e os estudantes utilizam termos estudados ao longo das 3 aulas da SD realizadas até o momento, quais sejam: “frequência”, “período”, “velocidade constante” e “MCU”. No Quadro 5, evidencia-se a mudança na descrição da segunda questão do questionário, sendo que no “GIF” há dois corpos que giram com mesmo período e frequência, porém, com raios de trajetórias diferentes. A primeira coluna do Quadro 5 serve para identificação do estudante; a segunda coluna mostra como o respectivo estudante descreveu o movimento observado por meio do “GIF” antes de iniciar as aulas sobre MCU; e a terceira coluna, por fim, indica como o respectivo estudante passou a descrever esse mesmo movimento depois das 3 aulas da SD realizadas até o momento.

**Quadro 5** – Comparação entre as respostas para a mesma questão antes e depois das aulas sobre movimento circular e uniforme.

Estudante	Pré-aulas	Aula 3
A7	Uma bolinha girando devagar e outra girando mais rápido. A rápida está por fora e ambas estão girando em volta do centro sem se aproximar ou afastar dele.	Dois corpos em movimento circular uniforme, em velocidades escalares diferentes e velocidades angulares iguais.
A6	Duas bolinhas estão girando, orientando-se pelo mesmo ponto “+” em velocidades diferentes.	Duas bolinhas azuis estão realizando movimentos circulares uniformes com velocidades angulares iguais e velocidades escalares diferentes.
A14	Dois corpos estão rodando ao redor de um centro.	Ambos os corpos realizam movimentos circulares uniformes em torno do ponto central do sistema. A bolinha que está mais distante do centro gira mais rápido, pois, como as velocidades angulares são iguais

Estudante	Pré-aulas	Aula 3
		por estarem no mesmo plano, a velocidade escalar dessa partícula em questão será maior, para compensar o tamanho do raio de sua órbita.
<b>A15</b>	Nesta imagem, há duas circunferências circunscritas. Em cada uma há um corpo em movimento e com velocidades diferentes entre si.	Há dois corpos em movimento circular. A velocidade angular é a mesma, pois os dois percorrem os 360° em um mesmo período de tempo. Entretanto, a velocidade escalar do corpo mais externo é maior, pois só se movimentando mais rápido conseguirá percorrer os 360° ao mesmo tempo que o outro corpo.
<b>A2</b>	Duas bolas estão rodando em volta de um centro, uma em uma área maior e a outra em uma menor.	Aqui, temos dois corpos em movimento circular em torno de um mesmo eixo, logo, ambos os corpos azuis têm mesma velocidade angular, mas velocidades escalares diferentes.
<b>A10</b>	Existem duas bolinhas, as duas estão girando em torno de um mesmo ponto. A primeira bolinha está mais próxima do centro e a segunda está mais distante do centro. As duas completam o trajeto no mesmo intervalo de tempo.	Estão acontecendo dois movimentos circulares em torno do mesmo centro. As velocidades angulares são aparentemente iguais, portanto, a velocidade escalar do corpo mais externo é maior.

Fonte: Elaborada pela autora.

Todos os estudantes destacados no Quadro 5 conseguiram identificar que os corpos possuíam velocidades angulares iguais e que, por terem raios de trajetórias diferentes entre si, tinham velocidades escalares diferentes, mostrando uma importante internalização desses conceitos e os utilizando para descrever e diferenciar movimentos circulares. Também, destaca-se que a forma de descrever esses movimentos está mais criteriosa quanto ao uso das palavras, identificando-se algumas palavras mais científicas, por exemplo: eixo, plano, centro, partícula, corpos e raio.

Os Slides 9 e 10 da apresentação desta aula contam com 2 exercícios de transmissão de movimento circular que visam exercitar tanto os conceitos aprendidos nesta aula, diferenciando os tipos de transmissão de movimento, e suas respectivas consequências, velocidades linear ou angular iguais, quanto a manipulação matemática com o uso das fórmulas. Assim, 5 minutos foram concedidos pela professora aplicadora da SD para os alunos solucionarem cada questão do exercício,

considerando que somente após os estudantes tentarem solucioná-las sozinhos, a professora aplicadora da SD apresentou na lousa digital a forma correta de sua resolução, evidenciando os conceitos e suas respectivas formulações e esclarecendo as dúvidas dos alunos.

É importante ressaltar que estava prevista para o fim desta terceira aula a aplicação de uma atividade de observação em que os alunos poderiam capturar fotos do céu em longa exposição para realizarem a atividade experimental principal proposta para a SD. Porém, devido à pandemia, tal observação não foi concretizada, por isso foi proposto aos alunos duas possibilidades: **(i)** utilizar a foto do céu em longa exposição capturada durante a viagem de estudo de campo à cidade de Itu, São Paulo, isto é, pré-aplicação da SD; ou **(ii)** capturar uma foto do céu em longa exposição a partir dos seus respectivos aparelhos celulares em suas próprias casas. Cabe sinalizar que nenhum estudante conseguiu realizar a própria foto por diferentes razões, a saber: **(i)** por não poderem sair de casa devido às regras do condomínio onde moravam; **(ii)** por não quererem se expor num momento de tantas incertezas; ou **(iii)** por não terem um local na própria casa que possibilitasse a observação do céu e a captura da foto. Portanto, todos os estudantes utilizaram como objeto de estudos para a atividade experimental proposta pela SD a referida foto capturada durante o estudo de meio na cidade de Itu, São Paulo (pré-aplicação da SD).

#### **3.3.4 Aula 4 – Atividade Prática “Fotografando Estrelas – Parte 1”**

A quarta aula da SD foi realizada em 13 de novembro de 2020 e seu objetivo principal era introduzir o experimento “Fotografando Estrelas” (incluindo as duas partes do experimento), o qual foi abordado anteriormente no âmbito deste trabalho. Para fácil referência do leitor, o referido experimento se propõe a calcular a velocidade da Terra a partir da observação do movimento aparente das estrelas por meio da foto do céu em longa exposição e, também, a partir da observação de dois momentos da mesma estrela com auxílio do simulador “Stellarium”. O experimento em questão tinha como premissa a captura de uma foto do céu em longa exposição pelos alunos durante uma determinada saída pensada para tal atividade, porém, em decorrência da pandemia e da implementação do ensino à distância, essa saída não pôde ser realizada, logo, foi necessário a reformulação dessa atividade experimental.

Primeiramente, acreditava-se que a essência da atividade estava garantida, pois seria possível que os alunos utilizassem a foto do céu em longa exposição realizada na cidade de Itu, São Paulo, naquele mesmo ano no mês de março, entretanto, isso implicaria uma perda de autonomia e protagonismo dos alunos na obtenção desses dados, o que poderia impactar a relação dos alunos com a experiência. O segundo método para condução do experimento, baseado no uso do simulador “Stellarium”, também foi modificado, visto que envolvia a impressão das capturas de tela referentes a dois instantes da mesma estrela (instantes inicial e final) para calcular a variação da posição angular dessa estrela com auxílio de um transferidor, no entanto, com o advento da pandemia, isso se tornou inviável, visto que não teria como garantir que todos os estudantes tivessem uma impressora em casa ou que pudessem fazer a impressão em algum outro lugar.

Com isso, foi necessária uma adaptação no método de coleta de dados para o modelo à distância e a saída encontrada consistiu na captura de tela de dois instantes da mesma estrela e utilização do *software* “Geogebra” para calcular a medida da variação angular entre dois pontos. Ambas as turmas realizaram o experimento a partir dos dois métodos, contudo, o “1º ano A” utilizou o método que envolve o uso da foto do céu em longa exposição na primeira parte do experimento, enquanto o “1º ano B” fez uso do método baseado no emprego do simulador “Stellarium” na primeira parte do experimento; na aula seguinte, ministrada após 1 semana, as turmas trocaram os métodos. A escolha dessa alternância foi uma estratégia para que a professora aplicadora da SD pudesse verificar na primeira parte da aplicação se ambas as dinâmicas dariam certo, se tinha algum erro nos roteiros ou mesmo algo que pudesse ser melhorado para a segunda parte do experimento para ambas as turmas.

No início desta aula, a professora aplicadora da SD resgatou a foto do céu em longa exposição captura na cidade de Itu, São Paulo, lembrando junto aos alunos como foi aquela experiência de realizar aquela foto considerando a contextualização feita antes do início da SD. Os alunos, por sua vez, compartilharam algumas memórias sobre aquele dia, conforme trechos adiante:

*P: Essa foto é lá de Itu, ela é uma foto de longa exposição do céu, lembram dessa foto?*

*A10: Foram várias tentativas.*

*A12: Eu ainda tenho as fotos da Lua que a gente tirou também.*

A partir desses trechos, constata-se que os alunos tinham ainda uma memória significativa sobre o dia em que a fotografia do céu em longa exposição foi capturada, apesar de a ocasião em que as aulas da SD estavam sendo ministradas estarem a 8 meses de distância da data da viagem à cidade de Itu, São Paulo. Os estudantes mostram, inclusive, outras referências de memórias, por exemplo, as fotos da Lua que tiraram por meio da ocular do telescópio durante a observação conduzida. A utilização da referida foto do céu em longa exposição é uma das importantes mudanças em relação à proposta inicial do experimento devido à pandemia e aos novos modos de habitar a escola.

Depois desse momento, a discussão com os estudantes foi retomada no âmbito do Slide 2 da apresentação utilizada nesta aula, o qual expôs, por meio do simulador “Rotating Sky Explorer” (Apêndice 4) os rastros formados pelas estrelas em torno do PSC e que aquele movimento era, em verdade, uma consequência do referencial do observador para o movimento de rotação da Terra no movimento aparente das estrelas no céu. Desse modo, a professora aplicadora da SD abriu o simulador “Rotating Sky Explorer” (Apêndice 4) e relacionou a foto do céu em longa exposição com a simulação, começando, assim, uma discussão com a intenção de mostrar que, ao medir o rastro da estrela, obtém-se a medida da variação da posição angular desse movimento aparente. Nessa linha, os estudantes foram questionados sobre como seria possível calcular a velocidade da Terra a partir do rastro da estrela, cabendo frisar aqui que eles conseguiram perceber que, para realizar tal cálculo, era preciso, antes, obter a variação da posição angular da estrela e o tempo em que o rastro foi registrado – que seria o tempo da exposição da mencionada foto.

Na sequência dessa construção, a professora aplicadora da SD abriu o simulador “Stellarium” para mostrar aos estudantes o segundo método, que consiste na possibilidade de realizar o mesmo raciocínio, mas utilizando o movimento da estrela em torno do PSC para calcular a velocidade de rotação da Terra. Dessa maneira, naquele momento da aula foi preciso indicar a forma de acesso do simulador “Stellarium”, considerando, inclusive, uma apresentação da funcionalidade de cada ferramenta que o supracitado simulador possui, bem como da possibilidade de mudança de local, da escolha de uma estrela específica e do modo de ajuste do simulador em questão para que o PSC aparecesse na tela.

Todas essas informações também foram disponibilizadas em vídeo, o qual consiste, portanto, num tutorial elaborado pela professora aplicadora da SD pois, com as mudanças do experimento devido ao formato de ensino à distância, surgiu a necessidade de se produzir mais tutoriais porque não havia tempo disponível para desenvolver, durante as aulas síncronas, todas essas técnicas de utilização do *software* “Geogebra” e do simulador “Stellarium” para achar o PSC na fotografia do céu em longa exposição, calcular o deslocamento angular para cada rastro ou mesmo calcular a variação angular das estrelas com as capturas de tela do simulador “Stellarium”. A professora aplicadora da SD optou por fazer esses tutoriais no formato de vídeos com gravação da tela do computador, explicando exatamente cada passo para encontrar as ferramentas necessárias para utilização desses dispositivos. Uma das consequências positivas dessa nova dinâmica foi que os estudantes tinham esses tutoriais disponíveis para acessar quantas vezes quisessem, o que não seria possível caso essas explicações tivessem acontecido durante as aulas presenciais na escola.

Posteriormente, com a explicação dos dois métodos, foi necessário abrir os respectivos roteiros e explicar o passo a passo dos métodos do experimento para esclarecer as dúvidas dos alunos quanto ao roteiro visto, bem como sinalizar que toda a dinâmica de execução do experimento seria conduzida pelos próprios estudantes no formato assíncrono e, portanto, sem o acompanhamento da professora aplicadora da SD. Para que os alunos tivessem, ainda, um momento para esclarecer suas dúvidas quanto à execução do experimento, dois horários durante a semana, no formato de plantão de dúvidas, com duração de 1 hora para cada turma, foram disponibilizados pela professora aplicadora da SD. Ambas as turmas compareceram a esse encontro, sendo que as dúvidas sobre o experimento se concentraram, majoritariamente, nas regras de conversão (de unidades das incógnitas, de graus para radianos e de centímetros para metros), aplicadas para calcular a velocidade. Nesse sentido, as dúvidas não se referiam à execução em si do *software* “Geogebra” ou do simulador “Stellarium”, mostrando que, possivelmente, os vídeos tutoriais foram suficientemente esclarecedores nesse quesito.

### **3.3.5 Aula 5 – Atividade Prática “Fotografando Estrelas – Parte 2”**

Esta quinta aula da SD foi realizada em 20 de novembro de 2020 e seus objetivos eram **(i)** aplicar um teste para avaliação da compreensão dos conceitos

físicos do MCU mediante questões objetivas, abstratas e genéricas na cobrança desses conceitos; **(ii)** apresentar a formulação da equação horária da posição angular para o MCU, comparando-a com a equação horária da posição do movimento retilíneo e uniforme, mostrando que a lógica de funcionamento da equação é a mesma, porém, a do MCU tem a especificidade de relacionar posições angulares em radianos em função do tempo em segundos; e **(iii)** apresentar a inversão de métodos para as turmas, sendo que a turma “1º ano A” repetirá o experimento com o método das capturas de tela do simulador “Stellarium”, enquanto a turma “1º ano B” o fará com o método da foto do céu em longa exposição.

No início desta aula, foi solicitado aos estudantes que fizessem uma atividade (Apêndice 6) durante os primeiros 15 minutos de aula, a qual poderia ser acessada por meio de um link disponível na plataforma “Google Classroom” das turmas. O novo questionário tinha como objetivo verificar, por intermédio de duas questões, se após a realização da primeira parte do experimento “Fotografando Estrelas” os alunos tinham maior domínio das formulações e do uso dos conceitos físicos do MCU, bem como coletar as primeiras impressões dos estudantes em relação ao experimento.

Na primeira questão da referida atividade, a proposta era calcular a velocidade angular e escalar a partir dos dados de variação angular em graus, do intervalo de tempo em segundos e do raio em metros. Apenas 17 dos 58 alunos que compunham as turmas responderam ao questionário, possivelmente por ser uma atividade síncrona e proposta no início da aula, sendo que parte dos alunos entrou na aula síncrona com certo atraso e outros acabavam assistindo a aula de forma assíncrona, isto é, pela gravação da aula que era disponibilizada. Desse total de estudantes, 94% acertaram a primeira questão, fazendo as conversões das unidades da variação da posição angular de graus para radianos corretamente e, também, utilizando as fórmulas de MCU acertadamente.

Como estavam no formato on-line, os alunos possivelmente utilizaram dispositivos eletrônicos para efetuar os cálculos matemáticos e, portanto, não houve erros nesse quesito. Se a mencionada atividade tivesse sido realizada presencialmente, na sala de aula, de modo que eles não pudessem utilizar esses dispositivos, um resultado diferente poderia ter sido verificado. O único estudante que não acertou integralmente a primeira questão da atividade não converteu a unidade

de medida da variação da posição angular de graus para radianos, mas usou, conceitualmente, as formulações de forma correta.

Com base nesses resultados, afirma-se que o experimento pode ter alcançado um grau satisfatório no entendimento e na utilização das fórmulas das respectivas velocidades angular e escalar, visto que a pergunta utilizava palavras genéricas, como: “um corpo que realiza MCU”. Tais palavras não conectavam os alunos a nenhum contexto da sua vida cotidiana e visava somente verificar se os estudantes conseguiam visualizar esses dados, identificá-los nas fórmulas e realizar os cálculos. Provavelmente por terem manipulado esses dados, tanto na coleta de dados quanto na execução dos cálculos para determinar as velocidades angular e escalar da Terra de forma contextualizada e autônoma, os estudantes conseguiram atingir essa eficiência na solução de um problema mais genérico e não contextualizado.

A segunda questão apresentava uma imagem de uma bolinha vermelha em trajetória circular em dois instantes diferentes (sendo horas, minutos e segundos expressos no formato “00h00m00s”), que mostrava a variação angular de  $45^\circ$ , e pedia que os alunos calculassem a velocidade angular em radianos por segundo (rad/s) e a velocidade escalar em metros por segundo (m/s), observando-se que o valor do raio era dado no enunciado. Aqui, a intenção era **(i)** usar os dados no formato utilizado pelos estudantes no experimento, porém, de um modo genérico e mais abstrato; e **(ii)** verificar se os alunos faziam a transposição do experimento para o exercício mais abstrato e genérico.

Das 17 respostas recebidas em relação à segunda questão, 82% a acertaram em sua integralidade e 4 estudantes a erraram parcialmente, sendo que os erros envolveram a conversão de unidades, isto é, os alunos usaram centímetros, graus ou erraram o intervalo de tempo em segundos. Salienta-se, dessa forma, que todos eles usaram as fórmulas conceitualmente certas, colocaram as incógnitas nos locais corretos e, também, acertaram a escolha das fórmulas. Dos 4 estudantes que erraram a segunda questão parcialmente, 3 deles não realizaram o experimento, portanto, tal fato provavelmente influenciou significativamente o seu rendimento, uma vez que o resultado satisfatório foi praticamente unânime quanto à segunda questão para os alunos que realizaram o experimento antes dessa atividade, o que possivelmente indica que o experimento foi capaz de concretizar os conceitos físicos envolvidos no MCU e suas respectivas formulações.

A aplicação desse questionário tinha duração de 15 minutos, mas, na prática, durou 40 minutos, pois os estudantes pediram mais tempo para terminarem os cálculos e, depois, foram enfrentados alguns problemas nas postagens das respostas via formulário on-line, tendo em vista que os alunos não estavam conseguindo anexar as fotos com as suas respostas. Vale frisar que esse problema poderia ser evitado caso o experimento tivesse sido conduzido no formato presencial, uma vez que os alunos poderiam entregar essas atividades fisicamente para a professora aplicadora da SD.

Por último, os estudantes puderam relatar qual era o objetivo do experimento e qual era caminho a ser percorrido para resolver o problema proposto, no entanto, a análise dessas respostas será apresentada na sexta aula, que corresponde à finalização da aplicação da SD, para que, juntamente com a segunda parte do experimento, seja possível trazer uma análise mais assertiva sobre esse processo, já que as turmas “1º ano A” e “1º ano B” realizaram esse experimento alternando os métodos entre si.

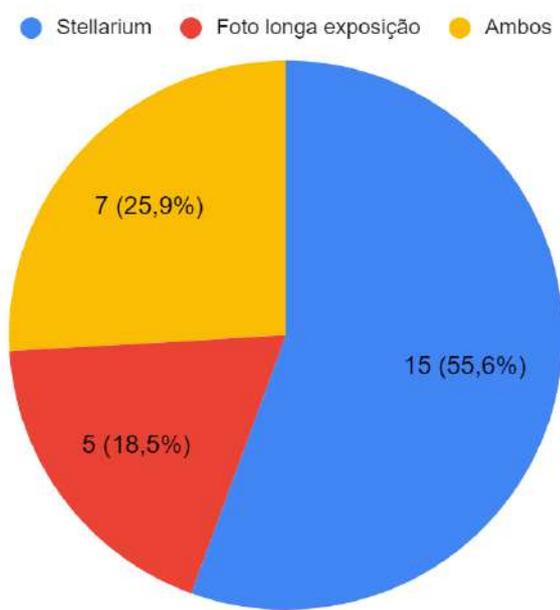
### **3.3.6 Aula 6 – Finalização da Atividade Prática “Fotografando Estrelas”**

Esta aula aconteceu no dia 27 de novembro de 2020 e seu principal objetivo era fazer uma avaliação geral do processo, visto que nessa data os estudantes tinham terminado as duas partes do experimento “Fotografando Estrelas”. Nessa linha, três momentos de avaliação foram conduzidos durante a aula, quais sejam: **(i)** a princípio, foi aplicado um questionário intitulado “Relato Final de Experiência” (Apêndice 7), que visava avaliar a segunda parte do experimento e capturar avaliações dos alunos sobre a diferença entre os métodos utilizados; **(ii)** depois, o questionário “Atividade Final MCU – Parte 1” (Apêndice 8) foi apresentado para os alunos a fim de analisar a descrição dos conceitos físicos presentes no MCU em problemas teóricos e mais abstratos; e **(iii)** por fim, houve a aplicação do questionário “Atividade Final MCU – Parte 2” (Apêndice 9), cujo objetivo era investigar se os estudantes conseguiriam fazer uma transposição do experimento “Fotografando Estrelas” para questões mais abstratas.

No total, 27 alunos responderam ao primeiro questionário, sendo que tais resultados estão demonstrados no Gráfico 2, que exhibe as respostas dos alunos e

permite a comparação de suas percepções quanto aos dois métodos do experimento “Fotografando Estrelas”.

**Gráfico 2** – Distribuição da preferência dos alunos pelos métodos utilizados no experimento “Fotografando Estrelas”, isto é, uso da foto do céu em longa exposição e do simulador “Stellarium”.



Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se que o método que utiliza as capturas de tela em dois instantes diferentes da mesma estrela com apoio do simulador “Stellarium” consiste na maior preferência entre os estudantes. Uma das razões que podem ter influenciado tal resultado pode ser a garantia de um processo que exigia e estimulava mais a autonomia dos alunos, não só pelo tratamento dos dados, mas também pelo processo da coleta de dados, já que os estudantes tinham o controle do simulador “Stellarium” e a liberdade para escolher todos os parâmetros do experimento. Além disso, o método que utiliza o simulador “Stellarium” é mais preciso, ou seja, possibilita que os estudantes cheguem aos valores das velocidades angular e escalar mais próximos do valor teórico com amparo desse método do que com a foto do céu em longa exposição, conforme demonstram os Quadros 6 e 7 a seguir.

**Quadro 6** – Comparação entre os valores de velocidade angular da Terra calculados no âmbito do experimento “Fotografando Estrelas” a partir de dois métodos diferentes.

Aspectos dos estudantes	Simulador “Stellarium”	Foto do céu em longa exposição
Realizaram o experimento	33%	43%
Erros menores que 15% do valor teórico	90%	65%
Erros menores que 5% do valor teórico	75%	26%

Fonte: Elaborada pela autora.

**Quadro 7** – Comparação entre os valores de velocidade escalar da Terra calculados no âmbito do experimento “Fotografando Estrelas” a partir de dois métodos diferentes.

Aspectos dos estudantes	Simulador “Stellarium”	Foto do céu em longa exposição
Realizaram o experimento	33%	43%
Erros menores que 15% do valor teórico	82%	77%
Erros menores que 5% do valor teórico	61%	35%

Fonte: Elaborada pela autora.

Analisando os Quadros 6 e 7, tem-se que os dois métodos se mostraram bastante precisos, sendo que, na velocidade escalar, os valores possuem uma sobreposição de erros, uma vez que essa velocidade é calculada a partir da velocidade angular. Ainda, destaca-se que 3 alunos se confundiram com as unidades de medida e chegaram a valores muito distantes dos valores teóricos – coincidentemente, consistem em alunos que participaram pouco das aulas, das atividades e, também, não compareceram aos plantões de dúvidas relacionados ao experimento. Estão apresentados abaixo alguns trechos das respostas desse questionário que fortalecem essas afirmações:

*A10: Como o Stellarium é um simulador e não sofre influências externas, o cálculo é muito mais preciso, por isso consegui uma margem de erro quase nula com seu uso.*

*A16: Eu gostei mais do método com Stellarium. Achei mais legal a gente fazer todo o processo, desde escolha da estrela, “fotografar” ela, pontos dela etc.*

O método baseado no uso da fotografia do céu em longa exposição também foi pensado para que os alunos fossem protagonistas na coleta de dados, porém, com o advento da pandemia, esse marco importante foi perdido. Ainda assim, analisando o trecho destacado a seguir, pode-se pontuar que os estudantes ainda tinham vínculo de pertencimento com a observação realizada na cidade de Itu, São Paulo – descrita anteriormente na contextualização que foi realizada na pré-aplicação da SD –, os quais relatam que a fotografia foi um momento real do qual eles participaram:

*A6: Eu, pessoalmente, gostei mais da parte 1 com a foto de longa exposição, **por ter sido produto de uma observação real do céu e uma experiência que participamos.***

A segunda pergunta serviu para avaliar os resultados das duas turmas sobre o experimento “Fotografando Estrelas”, tanto a partir da foto do céu em longa exposição quanto do simulador “Stellarium”. Os estudantes foram perguntados sobre o objetivo do experimento e qual foi o caminho percorrido para determinar as velocidades angular e escalar da Terra. Nesse sentido, os alunos responderam de forma unânime que o objetivo do experimento era calcular a velocidade angular da Terra a partir do movimento das estrelas, seja pelo rastro ou pela variação da posição angular da estrela no simulador “Stellarium”, como se destaca na resposta transcrita adiante:

*A8: O objetivo do experimento era calcular a velocidade angular e velocidade escalar da Terra, usando a movimentação em seu eixo e as estrelas como parâmetros. **Usando as estrelas como referência, é possível ver a movimentação da Terra, pois aparenta que as estrelas estão circulando o nosso céu.** Sabendo o deslocamento em graus das estrelas **(em graus pois estamos girando em círculos)** e o período de deslocamento, podemos aplicar essas informações em contas matemáticas para conseguir calcular a velocidade angular da Terra. Uma vez que sabemos a velocidade angular, podemos calcular a velocidade escalar.*

Nesse trecho, o estudante “A8” traz não somente o objetivo da atividade com muita nitidez, como também demonstra ter relacionado de forma clara a relação entre o movimento de rotação da Terra e o movimento aparente das estrelas no céu e expõe a construção lógica do experimento, demonstrando uma boa compreensão dos métodos, dos seus objetivos e do seu percurso, além de um bom entendimento da funcionalidade das fórmulas do MCU, evidenciando suas relações e dependências para alcançar o objetivo principal da atividade experimental proposta. O estudante “A8” também justifica o fato de as medidas serem angulares, identificando e nomeando o movimento aparente das estrelas no céu como um movimento circular.

Os trechos desta aula transcritos abaixo realçam algumas falas dos estudantes que corroboram com a hipótese inicial da proposta da SD, isto é, a concretização dos conceitos físicos presentes no MCU a partir do estudo de um fenômeno astronômico:

*A14: O objetivo era conseguir aplicar o que aprendemos em aula, em um **contexto mais familiar e até mais científico**. Percebermos o uso dos **conteúdos aprendidos em aula em escalas maiores e mais importantes, que realmente fazem parte da nossa vida**.*

*A6: Aplicar **os conceitos que aprendemos em aula em algo mais concreto, como as estrelas e sua movimentação na Terra**, e relacionar isso com a velocidade da Terra foi muito legal e interessante.*

*A17: O experimento “Fotografando Estrelas” trouxe um exemplo prático para os conceitos vistos em sala. **O cálculo da velocidade angular, velocidade escalar, conversão de medidas, tomou uma forma concreta com essa atividade**, na qual precisávamos calcular essas medidas com fotos do céu.*

Nos trechos destacados em negrito, os estudantes enquadram o fenômeno do movimento aparente das estrelas em torno do PSC como facilitador no entendimento mais concreto dos conceitos físicos envolvidos, enfatizando que essa abordagem ajudou a nortear os estudantes e evidenciando uma possível potência que conecta, de forma mais concreta, os conceitos de “velocidade angular” e “velocidade escalar” do MCU com um fenômeno presente no cotidiano. Por seu turno, no trecho destacado a seguir, vê-se que o estudante “A6” declara que o experimento fez as fórmulas ganharem sentido e indica, ainda, a metodologia como fator determinante para que esses conceitos se tornassem mais concretos quando evidencia a possibilidade de a própria execução do experimento permitir a identificação e reflexão sobre os “erros”, ou seja, a obtenção dos resultados fora do esperado.

*A6: O experimento foi muito legal, nunca achei que partindo de uma foto seria possível calcular a velocidade da Terra. **Uma vez que com propriedade das fórmulas, o experimento foi mais fácil porque o processo fazia mais sentido. Quando algo dava errado, era possível notar o que estava fora do esperado**, ou buscar outras formas, sendo achar um ponto celeste mais preciso com a ajuda de outros pontos e rastros, ou diminuindo casas decimais de números enormes.*

Quando os relatos são analisados a partir da experiência com o simulador “Stellarium”, há falas dos estudantes muito relevantes, que contribuem tanto para fortalecer a hipótese inicial da proposta da SD quanto para sublinhar a importância da

atividade experimental para o ensino. A seguir, serão apresentados trechos com reflexões dos estudantes que fortalecem as mencionadas afirmações.

*A2: Poder calcular a velocidade escalar da Terra dentro da minha casa parece aos que ouvem um pouco impossível, mas nós conseguimos! É legal pensar que **as estrelas não se movem como parece para nós aqui, que na realidade é o movimento da Terra, e sabendo disso, e é claro algumas fórmulas, nós conseguimos descobrir a velocidade escalar da Terra.** Sei que não é nada tão grandioso, mas para mim, uma menina de 15 anos, que nunca teve física antes na vida, é bem incrível.*

*A6: **Aplicar os conceitos que aprendemos em aula em algo mais concreto, como as estrelas e sua movimentação na Terra, e relacionar isso com a velocidade da Terra foi muito legal e interessante.***

Nos trechos destacados adiante, os estudantes relacionam a importância do experimento para realização dos exercícios abstratos que estavam presentes no mesmo formulário, reafirmando que, a partir do estudo de um fenômeno astronômico, os conceitos físicos foram possivelmente internalizados e absorvidos de um modo bastante significativo a ponto de permitir que os estudantes se colocassem frente à problemas mais abstratos de forma segura e assertiva.

*A2: Eu utilizei o que aprendemos em sala, fórmulas de graus para radiano, de velocidade angular, da velocidade escalar ... E **ajuda muito a aprender e compreender mesmo esses conceitos quando se coloca em prática. Acredito que só consegui fazer as atividades desse teste, pois esses conceitos foram antes praticados no experimento.***

*A18: Tentar descobrir coisas como a velocidade angular, escalar e até mesmo a posição angular das estrelas é incrível, pois **estamos mexendo com a realidade e não apenas com um exercício hipotético, então torna todo o experimento mais legal.***

Em outro trecho, o estudante “A18” conseguiu relacionar os dois métodos do experimento como um sendo consequência do outro e evidenciando uma importante concretização do que é o movimento aparente das estrelas no céu, conforme trecho destacado a seguir:

*A18: O experimento de Itu foi interessante, **porque foi como se nós tivéssemos vários prints do Stellarium e ele fosse traçando a rota que essa teve, para que ficasse igual a imagem já proposta.***

Em um segundo momento desta aula, uma segunda avaliação (Apêndice 8) foi disponibilizada por intermédio de um formulário on-line do “Google Forms”. A primeira questão pedia que os estudantes escrevessem algumas situações que eles

conheciam em que é possível observar movimento circular. Essa pergunta foi feita naquele momento porque uma das hipóteses deste estudo é identificar se abordar o MCU por meio da astronomia permite que os alunos concluam esse processo, conseguindo referenciar outros objetos que possuem movimento circular e que estão presentes no cotidiano deles. Um total de 31 estudantes respondeu a esse questionário, devendo-se considerar que os estudantes conseguiram estabelecer essa conexão do MCU com objetos do cotidiano, conforme está demonstrado na Figura 7, por meio de uma nuvem de palavras, sendo que as mais citadas pelos estudantes estariam destacadas em fonte maior, enquanto as palavras menos citadas apareceriam em fonte menor.

**Figura 7** – Respostas dos estudantes indicando exemplos em que se observa movimento circular e suas respectivas recorrências.



Fonte: Elaborada pela autora.

A partir da análise da Figura 7 é possível afirmar que a SD possibilitou que os estudantes fizessem a transposição do conhecimento adquirido a partir dos estudos envolvendo a astronomia para reconhecer objetos que fazem parte do seu cotidiano e que também tem os seus movimentos com características do MCU.

A segunda pergunta pedia para que os alunos descrevessem o movimento de um “GIF”, que mostrava os quatro planetas rochosos em torno do Sol. Essa mesma

questão tinha sido apresentada no questionário da primeira aula da SD, mas à época perguntava quais dos planetas tinham maior período e frequência. Naquele momento da aula, analisou-se de que forma os conceitos físicos do MCU foram empregados para essas descrições.

*A10: Nesta animação, podemos observar o sistema solar. **Todos os planetas têm órbitas muito próximas de uma circular, então considera-se que esse movimento é circular**; o Sol é o centro desse movimento. Percebemos que cada planeta tem uma velocidade diferente, tanto angular quanto escalar. **Mercúrio tem a maior velocidade angular e Marte, a menor.***

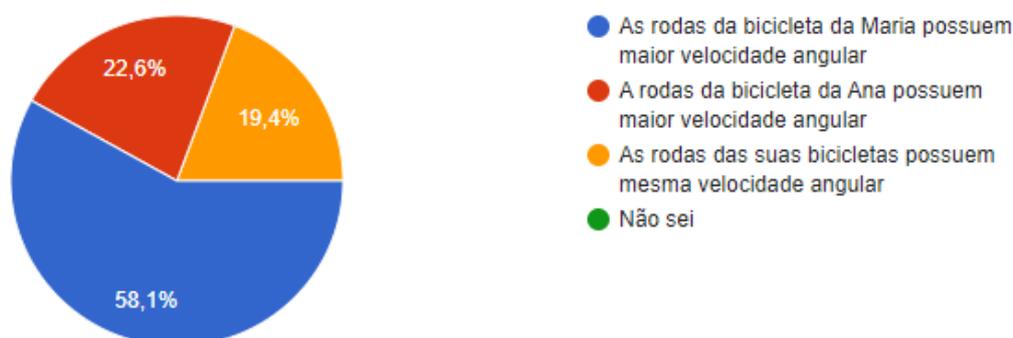
O estudante “A10” conseguiu descrever esse movimento tendo cuidado ao enfatizar a aproximação das órbitas com movimentos circulares, demonstrando uma boa fixação do modelo apresentado na primeira aula da SD. Após isso, classificou os movimentos dos planetas como circulares e evidenciou a diferença entre eles pelos conceitos de “velocidade angular” e “velocidade escalar” do MCU.

No trecho apresentado adiante, destaca-se que o estudante “A2” conseguiu explicar de maneira detalhada os conceitos físicos de “período” e “frequência”, estudados ao longo da SD, e relacionou a distância dos planetas em relação ao Sol com estes conceitos:

*A2: Aqui, cada planeta tem seu **período: tempo de uma (1) volta**, no caso ao redor do Sol. Sabemos também que quem está mais próximo do Sol tem menor **frequência: quantas voltas o corpo dá em determinado tempo**. Sabemos que o corpo que tem **menor período, tem maior frequência**, e que o corpo que tem **maior período, tem menor frequência**. Os que estão mais **próximos da estrela (Sol, no caso) têm a maior frequência e o menor período, enquanto os mais afastados têm maior período e menor frequência**.*

A terceira pergunta do referido formulário trazia uma questão que relacionava a mesma velocidade escalar para dois objetos que possuíam diâmetros diferentes em suas trajetórias circulares – contextualizando: a bicicleta de Ana tinha o maior diâmetro e ambas tinham a mesma velocidade escalar, portanto, a velocidade angular da Maria tinha que ser maior. Aqui, a expectativa era verificar se os estudantes conseguiram relacionar o raio da trajetória com as velocidades escalar e angular. No Gráfico 3, estão as respostas dos 27 estudantes.

**Gráfico 3** – Distribuição das respostas para a terceira questão do formulário on-line da sexta aula (Apêndice 8).



Fonte: Elaborado pela autora.

A maioria dos estudantes conseguiu fazer essa relação, mesmo para um problema teórico e sem imagem que ajudasse na visualização das diferenças entre as grandezas dos objetos envolvidos. Isso pode demonstrar uma boa fixação dos conceitos físicos, mesmo a partir de um problema hipotético mais teórico e abstrato.

No terceiro momento da avaliação aplicada nesta aula, os estudantes tiveram que responder a mais um formulário on-line do “Google Forms” (Apêndice 9), que continha 2 questões para cálculo das velocidades angular e escalar de objetos que realizam MCU. Na primeira questão, os dados referentes à variação da posição angular, ao intervalo de tempo e ao raio foram dados dentro do próprio texto da questão e os estudantes precisavam realizar a mudança de unidade de graus para radianos. Um total de 26 alunos respondeu a essa atividade, sendo que os percentuais dos resultados para a primeira questão foram de 84,6%, que acertaram todas as etapas, 7,7%, que erraram tanto as unidades de medida quanto às fórmulas, e 7,7%, que erraram somente a conversão da unidade de medida de graus para radianos. Evidencia-se, dessa maneira, que os conceitos físicos envolvidos no cálculo do MCU estavam bem estabelecidos para a grande maioria dos estudantes, que manusearam bem as fórmulas, bem como na relação entre essas grandezas e suas respectivas unidades de medida.

Na segunda questão, mais complexa do que a primeira, os dados eram fornecidos por intermédio de uma imagem, a variação da posição angular foi fornecida em graus e o intervalo de tempo em uma unidade mista de horas – minutos e segundos remetiam à atividade prática realizada no experimento “Fotografando

Estrelas” pelo método do simulador “Stellarium”. Para essa questão, 73% dos estudantes acertaram todas as etapas, 11,5% erraram tanto as unidades de medida quanto as fórmulas e 15,5% acertaram a utilização das fórmulas, mas não fizeram a conversão de unidade de medida de graus para radianos.

A maioria dos alunos conseguiu responder às questões que envolviam os mesmos dados dos experimentos realizados na SD, mas agora a partir de questões mais abstratas, sem a contextualização da SD já realizada, o que pode demonstrar que, por terem feito primeiramente o experimento que envolviam esses cálculos, ficou significativamente mais fácil partir para o abstrato, uma vez que esses conceitos estavam mais familiarizados e, portanto, mais concretizados. A avaliação apresentada na quinta aula tinha o mesmo objetivo e apresentou resultados que corroboram com os mencionados acima, sendo que a diferença é que mais estudantes responderam e, neste momento da aula 6 da SD, eles já tinham realizado ambos os métodos do experimento.

Depois que os estudantes terminaram de responder esses formulários, a professora aplicadora da SD finalizou a aula sistematizando tudo o que havia sido estudado durante as seis aulas sobre MCU, ressaltou quais eram os objetivos e as expectativas, e abriu, na sequência, um momento de discussão para que os estudantes pudessem trazer as suas percepções sobre todo o processo de maneira voluntária. Alguns estudantes reproduziram os relatos apresentados no primeiro formulário desta aula, não apresentando nenhum fator novo que já não tenha sido analisado anteriormente, sendo assim, a aplicação da SD foi finalizada. No capítulo seguinte, serão apresentadas a conclusão desta pesquisa e as considerações finais sobre este trabalho.

## 4 CONCLUSÃO

As mudanças que ocorreram na SD para atender ao modelo de ensino à distância trouxeram muitos desafios e radicalizaram alguns processos no projeto original, como foi descrito no capítulo anterior. Diante dessas mudanças, a professora que produziu e aplicou a SD teve que encontrar outros formatos de comunicação e exposição dos conteúdos para que conseguisse alcançar êxito nas suas atividades. Nessa linha, a professora aplicadora da SD tomou conhecimento e explorou muitos outros recursos digitais que não conhecia e/ou utilizava até então e que se mostraram muito potentes, por exemplo, os simuladores, os vídeos e os “GIFs”, pois cumpriram um papel importante para sistematização das ideias e construção dos conceitos e explicações, como demonstrado na descrição da primeira aula do capítulo anterior, no âmbito da qual a construção dos conceitos de “período” e “frequência” foi pautada na observação de um simulador “Gravidade e Órbitas”.

Outro ponto relevante consistiu na possibilidade de gravação das aulas e a disponibilização das aulas gravadas para os alunos ao longo da aplicação da SD, propiciando que eles pudessem ter acesso às aulas outras vezes, pausando-as e voltando-as para revisar conceitos. Essa vantagem é identificada por meio de uma fala de um aluno, que aparece no âmbito das aulas de apoio para o experimento “Fotografando Estrelas”, isto é, entre a quarta e a quinta aulas, sendo que os alunos relataram que utilizaram as gravações para refazer os cálculos e revisitar as aulas que continham as explicações das fórmulas.

É possível, ainda, afirmar que os alunos possivelmente ganharam mais espaço de autonomia para a execução do experimento, uma vez que, sem a mediação da professora aplicadora da SD no momento da execução do experimento, eles tiveram que criar possibilidades e alternativas para os seus problemas. Mesmo os alunos que compareceram nas aulas de apoio, todos eles já tinham realizado o experimento e precisavam basicamente de ajuda no isolamento de incógnitas ou alguns ajustes no *software* “Geogebra”.

A professora aplicadora da SD precisou conhecer novas ferramentas e desenvolver novos olhares para enxergar os ajustes que precisariam ser promovidos para manter a aplicação do experimento. Apesar do grande desafio posto frente às telas, os estudantes conseguiram, em grande parte, realizar o experimento de modo

muito satisfatório e alcançaram os objetivos propostos, como demonstrado a partir dos resultados explorados na sexta aula, observando-se que os estudantes conseguiram relacionar os conceitos do MCU presentes em seu cotidiano utilizando conceitos físicos estudados ao longo da SD.

Quando se relaciona o percurso adotado pela SD com as determinações presentes nos documentos oficiais da BNCC e dos PCN, alguns elementos que corroboram o alcance dos objetivos da disciplina de física para que os alunos alcancem competências e habilidades específicas podem ser destacados, por exemplo, o experimento “Fotografando Estrelas”, que colocou os alunos em uma posição central na execução dessa atividade, trabalhando a sua autonomia no processo de coleta, análise e conclusão dos dados, desenvolvendo parâmetros para ampliar a sua compreensão do universo e suas relações e, ainda, podendo refletir, argumentar e propor soluções.

Olhar para o movimento dos planetas em torno do Sol e determinar, a partir da mediação da professora aplicadora da SD, uma proximidade de suas órbitas elípticas com órbitas circulares significa interpretar e poder usar modelos explicativos para reconhecer suas condições de aplicabilidade. Essa lógica viabilizou que os estudantes pudessem vivenciar uma construção do uso de modelos que permite eles adquiram uma visão articulada dos fenômenos naturais.

Quando se analisa o uso da astronomia como objeto central dos estudos de MCU, verifica-se a importância que esse tema tem para os estudantes e de que forma isso potencializou o interesse dos alunos e estimulou sua percepção quanto aos movimentos do cotidiano, contextualizando, dessa forma, conceitos físicos e mediando o conhecimento. Antes mesmo do início da aplicação da SD, os alunos trouxeram como respostas ao “questionário-diagnóstico” alguns temas da astronomia para descrever uma bolinha azul girando em torno de uma bolinha vermelha, mostrando que esse consiste num tema presente no vocabulário e no imaginário desses estudantes, ou seja, está inserido no contexto desses estudantes. Como visto na introdução deste trabalho, para uma educação contextualizada, é necessário, primeiramente, que os alunos sejam motivados e que se procure satisfazer uma determinada demanda dirigida para uma finalidade específica. No caso deste trabalho, a finalidade era calcular a velocidade de rotação da Terra a partir do movimento

aparente das estrelas e, para isso, o conhecimento de alguns conceitos da física seria preciso para ajudar na conclusão de tal objetivo.

Para construir esses conceitos, a astronomia também foi utilizada como objeto central deste trabalho, por exemplo, para a construção dos conceitos de “período” e “frequência”, para a nomeação do movimento circular e sua diferenciação em relação a outros movimentos e enquanto enredo para discutir a adequação de modelos para fenômenos astronômicos quando se aproxima, nesses estudos, as órbitas dos planetas de órbitas circulares. Se na construção desse percurso a professora aplicadora da SD tem papel fundamental de provedora de uma relação emocional e de valores que motivam o aluno, é possível dizer que a foto capturada em um estudo de campo na cidade de Itu, São Paulo, em uma noite de observação com esses estudantes para realizar o experimento “Fotografando Estrelas”, foi extremamente importante para consolidar essa construção.

É plausível afirmar, ainda, que o experimento “Fotografando Estrelas” desafiou os estudantes, tanto em relação à manipulação dos dados com apoio do *software* “Geogebra” quanto nos cálculos e conversões de unidades envolvidas no experimento. Entretanto, verificou-se que esse experimento concretizou conceitos, ajudou os estudantes a visualizar na prática em que consistia cada grandeza e concedeu sentido aos conceitos da física que compõem o MCU aos olhos dos alunos. Os estudantes relataram a importância dessa atividade para o seu entendimento sobre os conceitos do MCU, conforme relatos transcritos no capítulo anterior, o que também pode ser observado quando se analisa os resultados das questões aplicadas na sexta aula, que eram bastante abstratas e os alunos conseguiram, em sua grande maioria, promover a transposição do processo que conduziram no experimento para resolver os referidos exercícios.

O uso da metodologia científica em uma atividade experimental como possibilidade para que os alunos pudessem, de forma autônoma, trabalhar a coleta de dados, manipular esses dados nas fórmulas, determinar o valor da velocidade de rotação da Terra e comparar tal valor com o valor teórico a partir de dois métodos diferentes se mostrou muito importante para a concretização dos conceitos físicos estudados. O uso do simulador “Stellarium” como um dos métodos de condução do experimento “Fotografando Estrelas” foi escolhido pelos alunos como o método que eles mais gostaram de aplicar. Conforme apresentado no capítulo anterior, na

descrição da sexta aula, evidencia-se pelos relatos dos estudantes que o motivo dessa preferência se deve à possibilidade de explorar o céu, mudar a localização e o tempo e escolher qualquer estrela e instante de tempo para utilizar como dados do experimento, ou seja, revela-se que o processo que garantia mais autonomia para os alunos foi o seu preferido. Com base nesses relatos, conclui-se que a ideia inicial deste trabalho, isto é, promover uma saída com os estudantes para realizar uma noite de observação e, assim, possibilitar que eles pudessem capturar as suas próprias fotos do céu em longa exposição seria, provavelmente, muito relevante para os alunos, isto é, esse método também poderia ocupar um lugar de desenvolvimento da autonomia, atuação e até mesmo melhor compreensão do fenômeno observado.

Quando se olha para os resultados dos exercícios propostos na sexta aula da SD, que tinham uma intencionalidade mais abstrata, a fim de verificar se em contextos diferentes da SD os estudantes conseguiriam utilizar as fórmulas e os conceitos abordados no MCU, tem-se resultados bastante satisfatórios, o que fortalece a percepção de que a construção desses conceitos do MCU a partir da astronomia se mostrou potente. Quando perguntados sobre outros movimentos circulares presentes no cotidiano, os estudantes também conseguiram trazer muitas referências, garantindo que os conceitos do MCU estavam consolidados quando eles conseguiram estabelecer relações de comparação entre situações do cotidiano em que se observa mesmas características do MCU estudadas ao longo da SD.

Em todo o processo de avaliação que ocorreu ao longo da SD, a maior parte dos erros dos estudantes parece ter se concentrado na falta de habilidade para conversão de unidades e manipulação dos dados no isolamento de incógnitas. Frente a isso, caso o professor aplicador da SD tenha disponibilidade, é possível pensar em alternativas que promovam ações de enfrentamento a essa questão. A aplicação de aulas extras com mais exercícios que possam ajudá-lo, ou até mesmo dinâmicas como plantões de dúvida e espaço de apoio ao aluno, pode ser uma das possíveis ações no contraturno da escola. Desse modo, foram adicionadas, de forma opcional **(i)** uma aula para prática de exercícios foi inserida entre a segunda e a terceira aulas da SD original, contemplando o cálculo das velocidades angular e linear para objetos que realizam MCU (atual “Aula 3” da SD do Anexo 10); **(ii)** uma outra aula foi criada entre a terceira e quarta aulas da SD original para contemplar as transmissões dentro do MCU (atual “Aula 5” da SD do Anexo 10); **(iii)** ainda, uma aula foi alocada entre a

quarta e a quinta aulas da SD original, implicando o uso da função horária do MCU em resolução de exercícios (atual “Aula 6” da SD do Anexo 10); e **(iv)** por fim, foi introduzida uma aula de exercícios de alta complexidade envolvendo corpos em MCU entre a quinta e a sexta aulas da SD original, contemplando a abordagem dos principais vestibulares do país para o tema do MCU (atual “Aula 9” da SD do Anexo 10).

Conclui-se, desse modo, que a SD conseguiu alcançar os principais objetivos iniciais propostos, sendo que os alunos puderam percorrer temas do MCU a partir do estudo da astronomia como objeto central. Assim, os estudantes puderam concretizar os conceitos a partir de uma perspectiva que favorece a autonomia do estudante no processo de ensino e aprendizagem com apoio do uso de experimentos que priorizam a prática da metodologia científica de forma autônoma e investigativa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APRESENTAÇÃO. **Colégio São Domingos**, São Paulo, [2024?]. Disponível em: <https://www.sdomingos.com.br/site/index.php/nossa-escola/apresentacao>. Acesso em: 27 abr. 2024.

BARBOSA, Cairo Dias *et al.* O uso de simuladores via smartphone no ensino de física: o experimento de Oersted. **Scientia Plena**, [S.l.], v. 13, n. 1, 012712-1, 2017. Disponível em: <https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/3358/1644>. Acesso em: 12 jul. 2024.

BATISTA, Michel Corci; FUSINATO, Polônia Altoé; BLINI, Ricardo Brugnole. Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de física. **Acta Scientiarum – Human and Social Sciences**, Maringá, v. 31, n. 1, 43-49, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3073/307325328006.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2024.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular – educação é a base**. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_sit e.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_sit e.pdf). Acesso em: 13 jul. 2024.

BRASIL. **Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) Ensino Médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, DF: MEC, [2002?]. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2024.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília, DF: MEC, [2000?]. v. 3. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2024.

CARDINOT, Marcos; NARMEN, Anderson. Astronomia no ensino de física: uma abordagem com o uso de simulações de chuvas de meteoros em um planetário virtual. **C&D – Revista Eletrônica da FAINOR, Vitória da Conquista**, v. 10, n. 1, p. 65-83, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Cardinot/publication/325186709\\_ASTRONOMIA\\_NO\\_ENSINO\\_DE\\_FISICA\\_UMA\\_A\\_BORDAGEM\\_COM\\_O\\_USO\\_DE\\_SIMULACOES\\_DE\\_CHUVAS\\_DE\\_METEOROS\\_EM\\_UM\\_PLANETARIO\\_VIRTUAL/links/5ba383e792851ca9ed17d662/ASTRONOMIA-NO-ENSINO-DE-FISICA-UMA-ABORDAGEM-COM-O-USO-DE-SIMULACOES-DE-CHUVAS-DE-METEOROS-EM-UM-PLANETARIO-VIRTUAL.pdf?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19](https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Cardinot/publication/325186709_ASTRONOMIA_NO_ENSINO_DE_FISICA_UMA_A_BORDAGEM_COM_O_USO_DE_SIMULACOES_DE_CHUVAS_DE_METEOROS_EM_UM_PLANETARIO_VIRTUAL/links/5ba383e792851ca9ed17d662/ASTRONOMIA-NO-ENSINO-DE-FISICA-UMA-ABORDAGEM-COM-O-USO-DE-SIMULACOES-DE-CHUVAS-DE-METEOROS-EM-UM-PLANETARIO-VIRTUAL.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19). Acesso em: 12 jul. 2024.

CARRARO, F. L.; PEREIRA, R.F. O uso de simuladores virtuais PHET como metodologia de ensino de eletrodinâmica. *In: PARANÁ. Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE*. Curitiba: Secretaria de Educação do Governo de Estado do Paraná, 2014. v. 1, não paginado. Disponível em:

[http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospede/pdebusca/producoes\\_pde/2014/2014\\_uem\\_fis\\_artigo\\_francisco\\_luiz\\_carraro.pdf](http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospede/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_uem_fis_artigo_francisco_luiz_carraro.pdf). Acesso em: 21 jul. 2024.

COLÉGIO SÃO DOMINGOS. Projeto Pedagógico Ensino Médio. São Paulo: Colégio São Domingos, [2024?]. Disponível em: <https://www.sdomingos.com.br/site/images/2022/segmentos-ensino-medio/EM-MatrizCurricular.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2024.

DINIZ, Leonardo Gabriel. Trilhas de estrelas. **GEDAI**, Belo Horizonte, 22 jul. 2019. Disponível em: <https://www.gedai.cefetmg.br/2019/07/22/trilha-de-estrelas/>. Acesso em: 01 jan. 2024.

FIOLHAIS, Carlos; TRINDADE, Jorge. Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 3, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/8x9p4DVZXL3KRq9K8Bcn6Rg/?lang=pt>. Acesso em: 12 jul. 2024.

FORMAÇÃO. **Colégio São Domingos**, São Paulo, [2024?]. Disponível em: <https://www.sdomingos.com.br/site/index.php/nossa-escola/proposta-pedagogica/formacao>. Acesso em: 27 abr. 2024.

GUIMARÃES, Cleidson Carneiro. Experimentação no ensino de química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 198-202, 2009. Disponível em: [https://cabecadepapel.com/sites/colecaoaiq2011/QNEsc31\\_3/08-RSA-4107.pdf](https://cabecadepapel.com/sites/colecaoaiq2011/QNEsc31_3/08-RSA-4107.pdf). Acesso em: 19 maio 2014.

LEWIN, Ana Maria Figueroa de; LOMASCÓLO, Teresa M. Monmany de. La metodología científica em la construcción de conocimientos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 147-154, 1998. Disponível em: [https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v20\\_147.pdf](https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v20_147.pdf). Acesso em: 12 jul. 2024.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003. Disponível em: [https://docentes.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy\\_of\\_historia-i/historia-ii/china-e-india/at\\_download/file](https://docentes.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india/at_download/file). Acesso em: 12 jul. 2024.

SANTIAGO, Arthur Vinícius Resek. **O potencial da observação no ensino de astronomia**: o estudo do conceito de energia. 2015. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-10092015-155110/publico/Arthur\\_Vinicius\\_Resek\\_Santiago.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-10092015-155110/publico/Arthur_Vinicius_Resek_Santiago.pdf). Acesso em: 13 jul. 2024.

SANTIAGO, Lorena. Educação contextualizada é alternativa para aproximar escola e comunidade. **IRPAA.org**, Juazeiro, 08 dez. 2011. Disponível em: <https://irpaa.org/noticias/377/educaa-sect-a-pound-o-contextualizada-a-copy-alternativa-para-aproximar-escola-e-comunidade#:~:text=Educa%C3%A7%C3%A3o%20Contextualizada%20%C3%A9>

20alternativa%20para,em%20suas%20pr%C3%A1ticas%20de%20ensino. Acesso em: 13 jul. 2024.

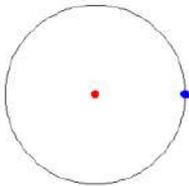
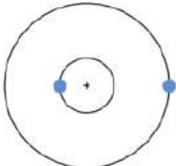
SANTOS, André Luis de Paula dos. **A utilização de experimentos tradicionais e simuladores computacionais sobre astronomia como inspiradores à aprendizagem do tema gravitação**. 2017. 162 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do ABC, Santo André, p. 162. 2017.

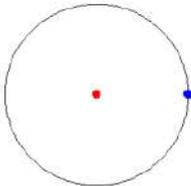
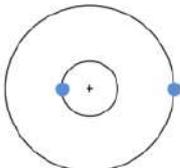
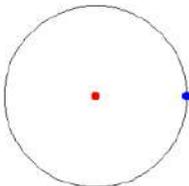
SCHMITT, César Eduardo. **O uso da astronomia como instrumento para a introdução ao estudo das radiações eletromagnéticas no Ensino Médio**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000547624&loc=2006&l=0e7eb596275a592c>. Acesso em: 12 jul. 2024.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2014. Disponível em: [https://www.ufrb.edu.br/ccaab/images/AEPE/Divulga%C3%A7%C3%A3o/LIVROS/Metodologia\\_do\\_Trabalho\\_Cient%C3%ADfico\\_-\\_1%C2%AA\\_Edi%C3%A7%C3%A3o\\_-\\_Antonio\\_Joaquim\\_Severino\\_-\\_2014.pdf](https://www.ufrb.edu.br/ccaab/images/AEPE/Divulga%C3%A7%C3%A3o/LIVROS/Metodologia_do_Trabalho_Cient%C3%ADfico_-_1%C2%AA_Edi%C3%A7%C3%A3o_-_Antonio_Joaquim_Severino_-_2014.pdf). Acesso em: 21 jul. 2024.

TAHA, Marli Spat *et al.* Experimentação como ferramenta pedagógica para o ensino de ciências. **Experiências em Ensino de Ciências**, Cuiabá, v. 11, n. 1, p. 138-154, 2016. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/552/523>. Acesso em: 13 jul. 2024.

## APÊNDICE 1

<p>13/05/2024, 17:04</p> <p>Questionário de levantamento para a Aula 1</p> <h3>Questionário de levantamento para a Aula 1</h3> <p>As questões deste formulário NÃO possuem resposta certa. As questões são somente para um levantamento prévio para nossa aula.</p> <p><i>* Indica uma pergunta obrigatória.</i></p> <p>1. E-mail *</p> <p>_____</p> <p>2. Escreva seu nome completo *</p> <p>_____</p> <p>3. Selecione abaixo sua turma *</p> <p>Marque todas que se aplicam.</p> <p><input type="checkbox"/> 1A</p> <p><input type="checkbox"/> 1B</p> <p><a href="https://docs.google.com/forms/d/1Qn2JuzSchJLCHV62uNwS8aA2TfPMz5M4yE62BZc/edit">https://docs.google.com/forms/d/1Qn2JuzSchJLCHV62uNwS8aA2TfPMz5M4yE62BZc/edit</a></p> <p>14</p>	<p>13/05/2024, 17:04</p> <p>Questionário de levantamento para a Aula 1</p> <p>4. Descreva o que está acontecendo abaixo: *</p>  <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>5. Descreva o que está acontecendo abaixo: *</p>  <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p><a href="https://docs.google.com/forms/d/1Qn2JuzSchJLCHV62uNwS8aA2TfPMz5M4yE62BZc/edit">https://docs.google.com/forms/d/1Qn2JuzSchJLCHV62uNwS8aA2TfPMz5M4yE62BZc/edit</a></p> <p>24</p>
---	--

<p>13/05/2024, 17:04</p> <p>Questionário de levantamento para a Aula 1</p> <p>6. Tente descrever novamente com termos mais científicos *</p>  <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>7. Tente descrever novamente com termos mais científicos *</p>  <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p><a href="https://docs.google.com/forms/d/1Qn2JuzSchJLCHV62uNwS8aA2TfPMz5M4yE62BZc/edit">https://docs.google.com/forms/d/1Qn2JuzSchJLCHV62uNwS8aA2TfPMz5M4yE62BZc/edit</a></p> <p>34</p>	<p>13/05/2024, 17:04</p> <p>Questionário de levantamento para a Aula 1</p> <p>8. Se você tivesse que descrever a situação abaixo para uma pessoa cega, como você faria? Que analogias você consegue estabelecer para essa explicação? *</p>  <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Este conteúdo não foi criado sem aprovação pelo Google.</p> <p>Google Formulários</p> <p><a href="https://docs.google.com/forms/d/1Qn2JuzSchJLCHV62uNwS8aA2TfPMz5M4yE62BZc/edit">https://docs.google.com/forms/d/1Qn2JuzSchJLCHV62uNwS8aA2TfPMz5M4yE62BZc/edit</a></p> <p>44</p>
---	--

## APÊNDICE 2

13/05/2024, 17:05

Atividade 1 - Período e Frequência

### Atividade 1 - Período e Frequência

\* Indica uma pergunta obrigatória

1. E-mail \*

2. Escreva seu nome completo \*

3. Selecione a sua turma: \*

Marque todas que se aplicam.

 1A

 1B

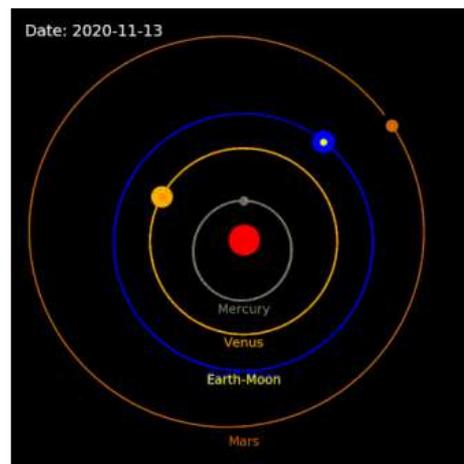
4. Um objeto desenvolve um movimento circular realizando 20 voltas em um intervalo de tempo de 10 segundos. Sabendo que este objeto executa as voltas em intervalos de tempos iguais, calcule a frequência  $f$  e o período  $T$  deste movimento. \*

Arquivos enviados:

13/05/2024, 17:05

Atividade 1 - Período e Frequência

5. Observe a animação abaixo e responda qual dos desses planetas tem o período maior e qual tem a maior frequência? Justifique sua resposta. \*




---



---



---



---

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

## APÊNDICE 3

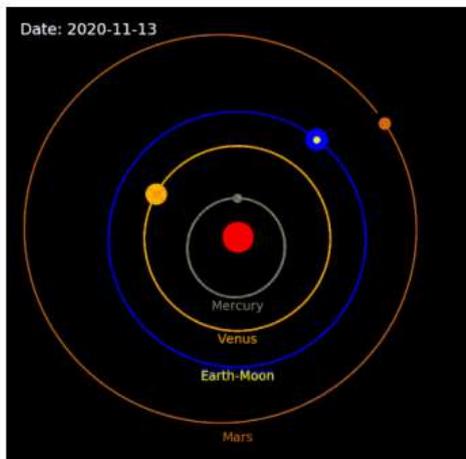
13/05/2024, 17:07

Movimento Circular e Uniforme

### Movimento Circular e Uniforme

\* Indica uma pergunta obrigatória

1. Observe os movimentos apresentados na figura abaixo e escolha a alternativa \* que apresenta somente afirmativas verdadeiras:



Marcar apenas uma oval.

- Terra possui velocidade angular maior do que o planeta Vênus  
 Marte possui a maior velocidade angular da figura  
 Vênus apresenta velocidade angular maior do que a Terra  
 Mercúrio possui a menor das velocidades angulares apresentadas na figura  
 Não sei

<https://docs.google.com/forms/d/1svVlq6YsVFqFSNCy2PSasS-X80uMHP92wwN4HwwavQ/edit>

1/2

13/05/2024, 17:07

Movimento Circular e Uniforme

2. Temos na figura abaixo dois corredores A e B que realizam voltas em uma pista de corrida circular. O corredor A faz voltas na pista interna enquanto o corredor B faz voltas na pista mais externa. Sabendo que os dois completam uma volta no mesmo intervalo de tempo, o que você pode afirmar sobre as velocidades escalares e angulares desses corredores?



Marcar apenas uma oval.

- Os corredores A e B possuem mesma velocidade angular e mesma velocidade escalar  
 O corredor A possui velocidade escalar maior e velocidade angular menor que o corredor B  
 O corredor B possui velocidade escalar maior e mesma velocidade angular que o corredor A  
 O corredor B possui velocidade escalar e velocidade angular maiores que o corredor A  
 Não sei

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

<https://docs.google.com/forms/d/1svVlq6YsVFqFSNCy2PSasS-X80uMHP92wwN4HwwavQ/edit>

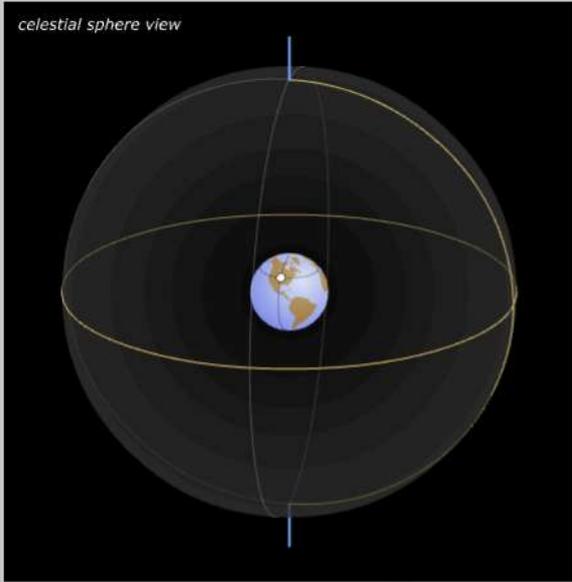
2/2

## APÊNDICE 4

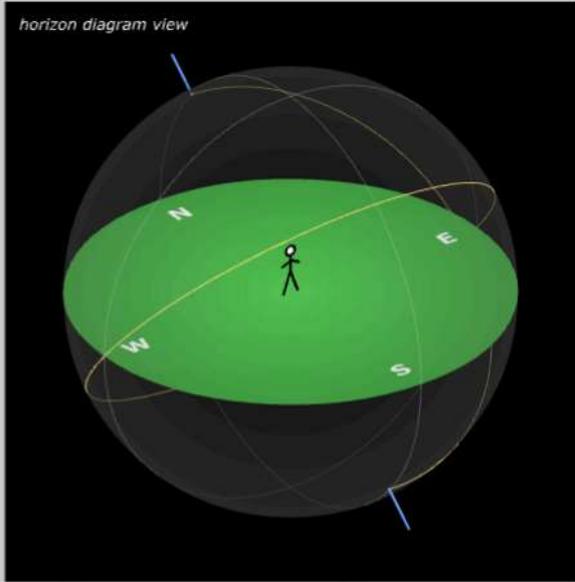
13/05/2024, 17:07 Coordinate Systems Comparison

**Rotating Sky Explorer** reset help about

*celestial sphere view*



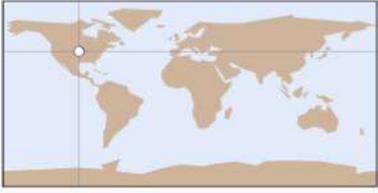
*horizon diagram view*



**Observer's Location**

latitude:  ° N

longitude:  ° W



**Animation Controls**

animate

animation rate:

slower faster

**Appearance Settings**

- show labels
- show 0h circle
- show celestial equator
- show underside of horizon diagram
- show never rise region
- show rise and set region
- show circumpolar region
- show the angle between the celestial equator and horizon

**Star Controls**

no star trails

short star trails

long star trails

<https://astro.unl.edu/classaction/animations/coordsmotion/celhorcomp.html>
1/1

## APÊNDICE 5

13/05/2024, 17:08
Questionário Aula 3
13/05/2024, 17:08
Questionário Aula 3

### Questionário Aula 3

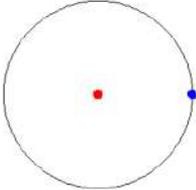
*\* Indica uma pergunta obrigatória.*

- E-mail \*
- Escreva seu nome completo \*
- Selecione abaixo sua turma \*
 

*Marque todas que se aplicam.*

 1A  
 1B

4. Descreva o que está acontecendo abaixo: \*



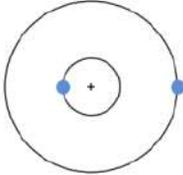

---

---

---

---

5. Descreva o que está acontecendo abaixo: \*




---

---

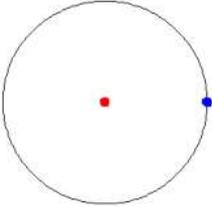
---

---

[https://docs.google.com/forms/d/1oVNmPuk1pyRyQpqaAeDxcfafoKv\\_BS43y6IC9FLi/edit](https://docs.google.com/forms/d/1oVNmPuk1pyRyQpqaAeDxcfafoKv_BS43y6IC9FLi/edit)
1/3
[https://docs.google.com/forms/d/1oVNmPuk1pyRyQpqaAeDxcfafoKv\\_BS43y6IC9FLi/edit](https://docs.google.com/forms/d/1oVNmPuk1pyRyQpqaAeDxcfafoKv_BS43y6IC9FLi/edit)
2/3

13/05/2024, 17:08
Questionário Aula 3

6. Se você tivesse que descrever a situação abaixo para uma pessoa cega, como você faria? Que analogias você consegue estabelecer para essa explicação? \*




---

---

---

---

---

---

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

## APÊNDICE 6

13/05/2024, 17:08

Atividade 2 - MCU

13/05/2024, 17:08

Atividade 2 - MCU

### Atividade 2 - MCU

\* Indica uma pergunta obrigatória

1. E-mail \*

2. Escreva seu nome completo \*

3. Selecione sua turma \*

Marque todas que se aplicam.

- 1A  
 1B

4. Você conseguiu fazer o experimento "Fotografando Estrelas" ? \*

Marcar apenas uma oval.

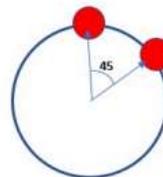
- Sim  
 Não

5. Um corpo realiza movimento circular e uniforme de raio  $R = 4$  metros e tem um deslocamento angular de  $30^\circ$  durante um intervalo de tempo igual a 10 segundos. Qual é a velocidade angular  $\omega$  (rad/s) e a velocidade escalar  $v$  (m/s) desse corpo? \*

Arquivos enviados:

6. Responda a questão abaixo \*

Na figura abaixo está representado o movimento circular e uniforme de raio  $R = 8$  metros de uma bolinha vermelha em dois instantes diferentes, sendo o primeiro instante igual a 2h30m10s e o segundo instante igual a 3h40m20s.



Calcule a partir desses dados a velocidade angular  $\omega$  (rad/s) e a velocidade escalar  $v$  (m/s) da bolinha vermelha.

Arquivos enviados:

7. Faça um relato do experimento "Fotografando As Estrelas" contemplando os seguintes pontos: O objetivo do experimento/ o problema que o experimento tentou resolver e os Métodos (caminhos) que você utilizou para alcançar o objetivo final. \*

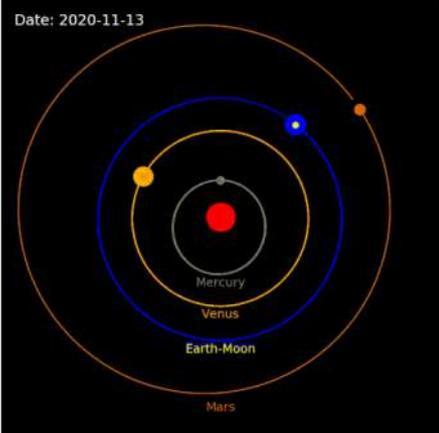

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

## APÊNDICE 7

13/05/2024, 17:09	13/05/2024, 17:09
<p style="text-align: center;">Relato Final de Experiência</p> <p><i>* Indica uma pergunta obrigatória</i></p> <p>1. E-mail *</p> <hr/> <p>2. Escreva seu nome completo *</p> <hr/> <p>3. Selecione a sua turma *</p> <p><i>Marque todas que se aplicam.</i></p> <p><input type="checkbox"/> 1A</p> <p><input type="checkbox"/> 1B</p> <p>4. Você fez o experimento "Fotografando as Estrelas" Parte 2? *</p> <p><i>Marcar apenas uma oval.</i></p> <p><input type="radio"/> Sim</p> <p><input type="radio"/> Não</p> <p>5. Faça um relato do experimento "Fotografando As Estrelas" contemplando os seguintes pontos: O objetivo do experimento/ o problema que o experimento tentou resolver e os Métodos (caminhos) que você utilizou para alcançar o objetivo final. *</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	<p>6. Dê sua opinião comparando as partes 1 e 2 do experimento "Fotografando As Estrelas". Foto de longa exposição de Iru x Stellarium. *</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <p style="text-align: center;"><small>Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.</small></p> <p style="text-align: center;"><b>Google</b> Formulários</p>
<p><a href="https://docs.google.com/forms/d/1bABXO19GfwMCSyLU2jCwN7GXKqpfVziFkNTn1mmY/edit">https://docs.google.com/forms/d/1bABXO19GfwMCSyLU2jCwN7GXKqpfVziFkNTn1mmY/edit</a></p>	<p style="text-align: center;">1/2</p> <p><a href="https://docs.google.com/forms/d/1bABXO19GfwMCSyLU2jCwN7GXKqpfVziFkNTn1mmY/edit">https://docs.google.com/forms/d/1bABXO19GfwMCSyLU2jCwN7GXKqpfVziFkNTn1mmY/edit</a></p> <p style="text-align: right;">2/2</p>

## APÊNDICE 8

<p>13/05/2024, 17:09 Atividade Final MCU - parte 1</p> <h3>Atividade Final MCU - parte 1</h3> <p><i>* Indica uma pergunta obrigatória</i></p> <p>1. E-mail *</p> <p>_____</p> <p>2. Escreva seu nome completo *</p> <p>_____</p> <p>3. Selecione a sua turma: *</p> <p><i>Marque todas que se aplicam.</i></p> <p><input type="checkbox"/> 1A</p> <p><input type="checkbox"/> 1B</p> <p>4. Escreva abaixo quais coisas você conhece que possui movimento circular.</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p><a href="https://docs.google.com/forms/d/1dtb5jkaTel6QqXTE9W8SBVT_3zh2K9LdoqZRPFRuk/edit">https://docs.google.com/forms/d/1dtb5jkaTel6QqXTE9W8SBVT_3zh2K9LdoqZRPFRuk/edit</a></p>	<p>13/05/2024, 17:09 Atividade Final MCU - parte 1</p> <p>5. Descreva os movimentos apresentados abaixo: *</p>  <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>6. Ana e Maria decidem andar de bicicleta na rua onde moram. A bicicleta da Ana tem pneus com diâmetro maior do que a bicicleta da Maria. Se as duas andam com a mesma velocidade escalar <math>v</math>, qual das rodas tem maior velocidade angular <math>\omega</math>?</p> <p><i>Marcar apenas uma oval.</i></p> <p><input type="radio"/> As rodas da bicicleta da Maria possuem maior velocidade angular</p> <p><input type="radio"/> A rodas da bicicleta da Ana possuem maior velocidade angular</p> <p><input type="radio"/> As rodas das suas bicicletas possuem mesma velocidade angular</p> <p><input type="radio"/> Não sei</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p><a href="https://docs.google.com/forms/d/1dtb5jkaTel6QqXTE9W8SBVT_3zh2K9LdoqZRPFRuk/edit">https://docs.google.com/forms/d/1dtb5jkaTel6QqXTE9W8SBVT_3zh2K9LdoqZRPFRuk/edit</a></p>
--	--

<p>13/05/2024, 17:09 Atividade Final MCU - parte 1</p> <p>7. Explique/Descreva para um cego o que é o movimento circular. *</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.</p> <p>Google Formulários</p>
--

## APÊNDICE 9

13/05/2024, 17:10

Atividade Final - MCU parte 2

### Atividade Final - MCU parte 2

\* Indica uma pergunta obrigatória

1. E-mail \*

2. Escreva seu nome completo \*

3. Selecione abaixo sua turma \*

Marque todas que se aplicam.

- 1A  
 1B

4. Selecione abaixo quais dos métodos utilizados você mais gostou. \*

Marque todas que se aplicam.

- Gostei mais do método com a Foto de Longa Exposição de ITU  
 Gostei mais do método com o Stellarium  
 Gostei dos dois  
 Não gostei de nenhum  
 Outro:

5. Um corpo realiza movimento circular e uniforme de raio  $R = 2$  metros e tem um deslocamento angular de  $60^\circ$  durante um intervalo de tempo igual a 2 segundos. Qual é a velocidade angular  $\omega$  (rad/s) e a velocidade escalar  $v$  (m/s) desse corpo? Responda no seu caderno e anexe a foto.

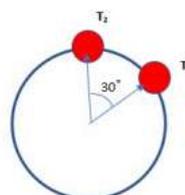
Arquivos enviados:

13/05/2024, 17:10

Atividade Final - MCU parte 2

6. Responda em uma folha e anexe a foto como resposta. \*

Na figura abaixo está representado o movimento circular e uniforme de raio  $R = 10$  metros de uma bolinha vermelha em dois instantes diferentes, sendo o primeiro instante igual a 20h10m20s e o segundo instante igual a 21h20m40s.



Calcule a partir desses dados a velocidade angular  $\omega$  (rad/s) e a velocidade escalar  $v$  (m/s) da bolinha vermelha.

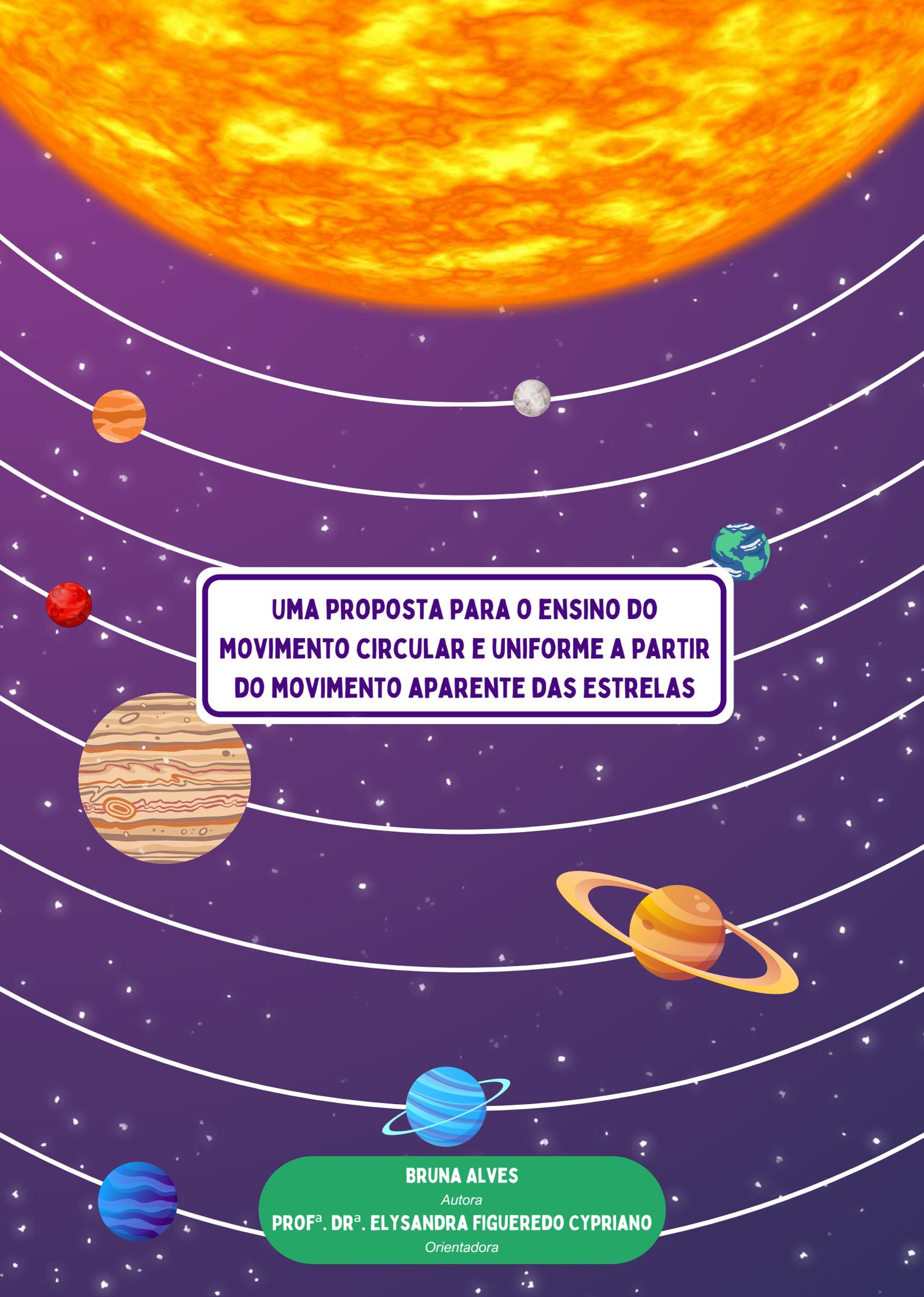
Arquivos enviados:

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

## **APÊNDICE 10**

### **PRODUTO EDUCACIONAL**



**UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DO  
MOVIMENTO CIRCULAR E UNIFORME A PARTIR  
DO MOVIMENTO APARENTE DAS ESTRELAS**

**BRUNA ALVES**

*Autora*

**PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. ELYSANDRA FIGUEREDO CYPRIANO**

*Orientadora*



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
DEPARTAMENTO DE ASTRONOMIA

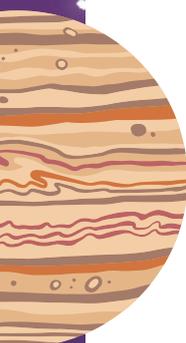
BRUNA ALVES

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO  
DO MOVIMENTO CIRCULAR E UNIFORME  
A PARTIR DO MOVIMENTO APARENTE DAS ESTRELAS

Produto educacional anexo à dissertação “Uma proposta para o ensino do movimento circular e uniforme a partir do movimento aparente das estrelas”, apresentada ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elysandra Figueredo Cypriano.

SÃO PAULO  
2024



# LISTA DE FIGURAS

**Figura 1** – Fotografia do céu noturno da cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, realizada em longa exposição pelo fotógrafo Vinícius Januário.....8

**Figura 2** – Captura da tela do simulador de órbitas do site “PhET Interactive Simulations” da Universidade de Colorado mostrando, simultaneamente, as trajetórias dos movimentos do sistema “Sol, Terra e Lua”.....12

**Figura 3** – Figura referente ao Exemplo I, que trata de uma transmissão de MCU sobre eixos iguais.....23

**Figura 4** – Figura referente ao Exemplo II, que trata de uma transmissão de MCU sobre eixos diferentes.....23

# LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** – Tema e duração das Aulas 1 a 10.....9

**Tabela 2** – Resumo geral da Aula 1.....10

**Tabela 3** – Resumo geral da Aula 2.....15

**Tabela 4** – Resumo geral da Aula 3.....18

**Tabela 5** – Resumo geral da Aula 4.....19

**Tabela 6** – Resumo geral da Aula 5.....24

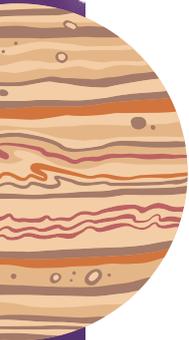
**Tabela 7** – Resumo geral da Aula 6.....25

**Tabela 8** – Resumo geral da Aula 7.....33

**Tabela 9** – Resumo geral da Aula 8.....35

**Tabela 10** – Resumo geral da Aula 9.....42

**Tabela 11** – Resumo geral da Aula 10.....44

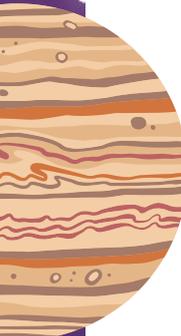


# SUMÁRIO

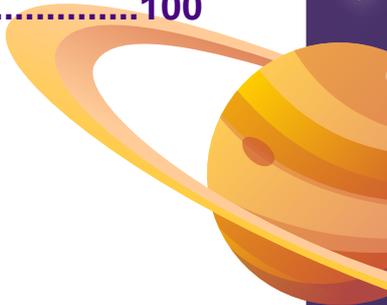
<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>AULA 1</b> .....	<b>10</b>
DESCRIBÇÃO.....	11
Parte I.....	11
Parte II.....	11
Parte III.....	13
<b>AULA 2</b> .....	<b>15</b>
DESCRIBÇÃO.....	16
Parte I.....	16
Parte II.....	16
Parte III.....	17
Parte IV.....	17
<b>AULA 3</b> .....	<b>18</b>
DESCRIBÇÃO.....	18
<b>AULA 4</b> .....	<b>19</b>
DESCRIBÇÃO.....	20
Parte I.....	20
Parte II.....	20
Parte III.....	21
Parte IV.....	21
Parte V.....	22
Parte VI.....	22
<b>AULA 5</b> .....	<b>24</b>
DESCRIBÇÃO.....	24
<b>AULA 6</b> .....	<b>25</b>
DESCRIBÇÃO.....	26
Parte I.....	26
Parte II.....	27

# SUMÁRIO

Parte III.....	28
Parte IV.....	28
Parte V.....	30
Parte VI.....	31
Parte VII.....	32
<b>AULA 7.....</b>	<b>33</b>
DESCRIBÇÃO.....	34
Parte I.....	34
Parte II.....	34
Parte III.....	34
<b>AULA 8.....</b>	<b>35</b>
DESCRIBÇÃO.....	36
Parte I.....	36
Parte II.....	36
Parte III.....	40
Parte IV.....	41
<b>AULA 9.....</b>	<b>42</b>
DESCRIBÇÃO.....	43
Parte I.....	43
Parte II.....	43
<b>AULA 10.....</b>	<b>44</b>
DESCRIBÇÃO.....	45
Parte I.....	45
Parte II.....	46
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXO 3.....</b>	<b>52</b>



# SUMÁRIO



ANEXO 4.....	56
ANEXO 5.....	58
ANEXO 6.....	60
ANEXO 7.....	62
ANEXO 8.....	64
ANEXO 9.....	68
ANEXO 10.....	74
ANEXO 11.....	76
ANEXO 12.....	77
ANEXO 13.....	80
ANEXO 14.....	87
ANEXO 15.....	89
ANEXO 16.....	91
ANEXO 17.....	93
ANEXO 18.....	99
ANEXO 19.....	100

# APRESENTAÇÃO

Este produto educacional foi desenvolvido com o objetivo de apresentar uma proposta para o ensino do movimento circular e uniforme (**MCU**) por meio de uma sequência didática (**SD**) composta por dez aulas envolvendo o estudo da astronomia a partir da perspectiva da física com o amparo de uma atividade prática para que os alunos, para além de ter uma vivência dos conceitos relacionados ao referido tema em moldes diferentes do ensino mais tradicional usualmente aplicado em sala de aula, aproximem-se desses conceitos por meio de exemplos que estão presentes em seu cotidiano, como o céu que envolve a todos.

As aulas apresentam uma abordagem dos conceitos físicos relacionados ao MCU tendo como objeto de estudo central os movimentos dos astros, principalmente o movimento dos planetas em torno do Sol e da Lua em torno da Terra, além do movimento aparente do céu noturno, mais especificamente, o movimento aparente das estrelas em torno do polo sul celeste (**PSC**), que ocorre por intermédio da projeção do polo geográfico sul na esfera celeste.

A atividade prática consiste em um experimento durante o qual os estudantes devem calcular a velocidade angular de rotação da Terra considerando o movimento aparente das estrelas a partir de dois métodos, quais sejam: **(i)** utilizando uma foto do céu em longa exposição; e **(ii)** com auxílio do simulador “Stellarium”.

O movimento aparente das estrelas em torno dos polos celestes apresenta padrões que são formalmente descritos pelo MCU, pois formam rastros circulares cujos polos correspondem ao centro dos arcos de circunferência.

A **Figura 1** a seguir exibe um exemplo do registro do movimento aparente das estrelas em torno do polo pois se trata de uma fotografia que foi tirada em longa exposição, com duração de 2 horas e 6 minutos, na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, pelo fotógrafo Vinícius Januário, e mostra diversos rastros das estrelas com formato de semicírculos.

**FIGURA 1**

Fotografia do céu noturno da cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, realizada em longa exposição pelo fotógrafo Vinícius Januário.



Fonte: Retirada de Diniz (2019).

Salienta-se que, ao usar a variação da posição angular de cada rastro de estrela juntamente com o tempo de exposição da fotografia, é possível calcular a velocidade angular dos rastros das estrelas, sendo que, indiretamente, será fornecida a velocidade de rotação da Terra – uma vez que esta é o astro que está se movimentando. Já utilizando o simulador “Stellarium”, tais rastros estelares são substituídos por dois instantes diferentes de uma estrela.

A atividade prática explora metodologias de coleta de dados, tratamento de dados e comparação de valores experimentais com valores teóricos, permitindo, assim, que o estudante se aproprie de uma linguagem mais científica.

A **Tabela 1** a seguir apresenta o tema e a duração de cada aula que compõe este material.

**TABELA 1** Tema e duração das **Aulas 1 a 10**.

Aula	Tema	Duração
1	Introdução ao MCU	45 minutos
2	Velocidades angular e linear	45 minutos
3	Exercícios de fixação dos conceitos do MCU	45 minutos
4	Transmissão de MCU	45 minutos
5	Exercícios de fixação dos conceitos de transmissão de MCU	45 minutos
6	Atividade prática “Fotografando Estrelas – Parte 1”	45 minutos
7	Função horária da posição angular no MCU	45 minutos
8	Atividade prática “Fotografando Estrelas – Parte 2”	45 minutos
9	Exercícios do MCU de alta complexidade	45 minutos
10	Finalização da atividade prática “Fotografando Estrelas”	45 minutos

Fonte: Elaborada pela autora.

A seguir, será apresentada a dinâmica de cada aula desta SD, além de todas as ferramentas necessárias para aplicação deste material, o que inclui roteiros experimentais, tutoriais para manipulação dos simuladores e *slides* contendo todo o material teórico que compõem as aulas.

Reforça-se que consideramos as **Aulas 3, 5, 6 e 9** nesta SD porque entendemos que seria uma alternativa para trabalhar as dificuldades relacionadas à prática de exercícios. Contudo, tais aulas podem ser desconsideradas pelos professores que vierem a aplicar esta SD.

# AULA 1

**TABELA 2** Resumo geral da **Aula 1**.

<b>Título</b>	Introdução ao MCU		
<b>Duração</b>	45 minutos		
<b>Slides</b>	<b>Anexo 1</b>		
<b>Objetivo</b>	A <b>Aula 1</b> corresponde a uma aula introdutória cujo objetivo é estimular os alunos a trabalharem conceitos físicos já estudados a fim de que possam diferenciar os tipos de movimentos e, conseqüentemente, os movimentos circulares a partir dos conceitos de “período” e “frequência”.		
<b>Objetivos de Aprendizagem</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Introduzir as trajetórias circulares presentes no céu.</li><li>Apresentar os conceitos de “período” e “frequência”.</li></ul>		
<b>Estrutura</b>	<b>Parte I</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	2	Diferenciar as possíveis trajetórias de um corpo (retilínea, circular e mista).	Simulador “Giro 2D da Joanelha”
	<b>Parte II</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	3 e 4	Apresentar e analisar os movimentos do sistema “Sol, Terra e Lua”, evidenciando-se a diferença entre as trajetórias observadas de acordo com o referencial adotado e as mudanças de direção do vetor “velocidade”.	Simulador “Gravidades e Órbitas”
<b>Parte III</b>			
<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>	
5 a 10	Aproximar o MCU e os movimentos planetários para trabalhar os conceitos de “período” e “frequência”.	Simulador “Solar System Dynamics”	

Fonte: Elaborada pela autora.

# DESCRIÇÃO

## PARTE I

Esta aula deve iniciar com uma breve discussão a respeito das possíveis trajetórias de deslocamento de um corpo, podendo-se utilizar aqui os seguintes questionamentos:

- Quais tipos de trajetórias são possíveis para um objeto?
- Um ônibus que sai de um terminal de ônibus e percorre os bairros na cidade pode apresentar qual(is) tipo(s) de trajetória(s)?

Em seguida, deve-se abrir o simulador “Giro 2D da Joanhina” e mostrar aos alunos as mudanças na direção do vetor “velocidade” e os tipos de trajetórias possíveis, questionando, simultaneamente, as diferenças entre uma trajetória retilínea e outra circular por meio do **Roteiro 1 (Anexo 2)**.

## PARTE II

Na sequência, deve-se realizar uma análise do movimento do planeta Terra em torno do Sol, bem como da composição do movimento do sistema “Sol, Terra e Lua”, por meio do simulador “Gravidades e Órbitas”, sendo que a descrição de como deve ser feita tal análise pode ser encontrada no **Roteiro 2 (Anexo 3)**.

Na primeira parte do **Roteiro 2**, encontra-se a simulação da Terra girando em torno do Sol, momento em que uma discussão deverá ser iniciada com a seguinte questão disparadora: “Se você fosse descrever esse movimento com o máximo de características possíveis, como faria?”.

Tal questionamento deve estimular os alunos a falar sobre as características do movimento, tanto da trajetória circular e repetitiva quanto da mudança de direção do vetor “velocidade”.

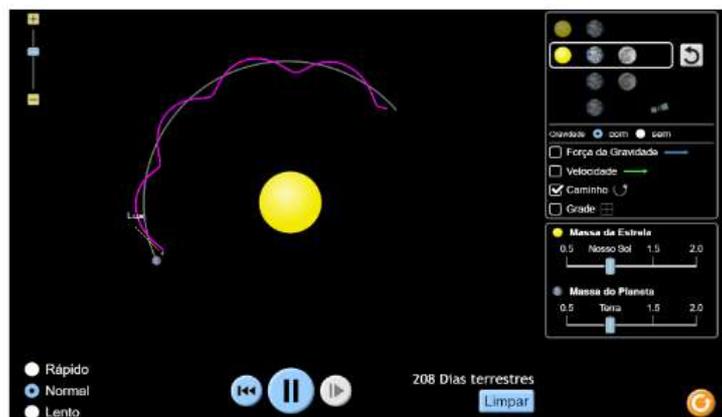
Recomenda-se que sejam anotadas na lousa as descrições que os alunos fizerem e destacadas as palavras utilizadas pelos alunos que relacionam as características que um corpo tem quando realiza o MCU, por exemplo, “movimento que se repete”, “circular”, “mesma velocidade”, “mudança de direção” etc.

Posteriormente, o simulador deve mostrar o movimento do sistema “Terra e Lua”, sendo que o objetivo é evidenciar que o movimento de tal sistema exhibe as mesmas características que o anterior. Para iniciar, é necessário perguntar aos alunos, antes de iniciar a simulação, como é o movimento da Lua em torno da Terra. Ao passar a simulação, deve-se enfatizar as mesmas características do movimento apresentado anteriormente, cujas características foram enumeradas pelos alunos e destacadas na lousa, demonstrando-se, dessa forma, que os movimentos dos sistemas “Sol e Terra” e “Terra e Lua” detêm as mesmas características.

Na última parte da simulação, é preciso expor o movimento da Lua em torno da Terra e do conjunto “Terra e Lua” em torno do Sol, simultaneamente, a partir de um referencial de fora do sistema solar, isto é, olhando de cima. Aqui, o objetivo é mostrar a trajetória diferenciada da Lua quando se observa simultaneamente seu movimento de rotação e translação, conforme se observa no âmbito da **Figura 2** abaixo.

**FIGURA 2**

Captura da tela do simulador de órbitas do site “PhET Interactive Simulations” da Universidade de Colorado mostrando, simultaneamente, as trajetórias dos movimentos do sistema “Sol, Terra e Lua”.



Fonte: Retirada de Meu Sistema... (2024).

É importante falar aos alunos sobre a importância do referencial na observação dos movimentos em geral, uma vez que, quando se analisa somente o movimento de rotação da Lua em torno da Terra, observa-se o MCU, no entanto, quando se considera também o movimento de translação da Lua em torno do Sol, identifica-se outra trajetória bastante diferente.

### PARTE III

Neste momento próximo ao fim da aula, é interessante verificar se os alunos conseguem relacionar o movimento dos planetas e o MCU. Em seguida, deve-se construir os conceitos de “período” e “frequência” do movimento circular a partir da observação dos movimentos planetários com o uso do simulador “Solar System Dynamics”, conforme indica o **Roteiro 3 (Anexo 4)**, tanto para entender na prática o que tais movimentos são quanto para diferenciá-los.

O uso de simuladores na observação facilita uma discussão aberta com os alunos a respeito dos conceitos de “período” e “frequência” em relação ao MCU, a qual pode ser iniciada por meio da seguinte questão disparadora: “O que diferencia esses movimentos circulares?”.

Espera-se que, a partir da referida discussão, os alunos cheguem na definição dos conceitos de tais grandezas. Cabe ao professor fazer esse direcionamento e ajudar os alunos a definir, mais formalmente, esses conceitos (**Slide 5**).

O **Slide 6** apresenta aos alunos um “GIF” que expõe o movimento dos planetas em torno do Sol (fora de escala) em conjunto com uma tabela que demonstra os períodos de rotação e translação de cada planeta, objetivando, desse modo, evidenciar a relação inversamente proporcional dessas grandezas.



Os **Slides 7 e 8** contemplam a explicação da formulação para o cálculo de frequência, apresentando-se as unidades de medida de tal grandeza e utilizando-se o mesmo exemplo do **Slide 6** para calcular, junto com os alunos, as frequências de alguns planetas considerando os dados da tabela presente no mencionado *slide*.

Nos **Slides 9 e 10**, constam, de forma expositiva, a relação e dependência entre as grandezas “período” e “frequência”, sua formulação matemática e, também, dois exercícios de aplicação que concretizam os conceitos de tais grandezas, cabendo ao professor, na resolução desses exercícios, trabalhar a interpretação dos enunciados a fim de obter os dados e suas respectivas unidades de medida.



# AULA 2

**TABELA 3** Resumo geral da **Aula 2**.

<b>Título</b>	Velocidades angular e linear		
<b>Duração</b>	45 minutos		
<b>Slides</b>	<b>Anexo 5</b>		
<b>Objetivo</b>	Apresentar conceitualmente as velocidades angular e linear do MCU, bem como suas respectivas formulações, além de relacioná-las em função do raio da trajetória.		
<b>Objetivos de Aprendizagem</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Compreender a velocidade angular.</li><li>Compreender a velocidade linear.</li></ul>		
<b>Estrutura</b>	<b>Parte I</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	2	Apresentar o conceito de “posição angular” e converter as unidades de medida em graus e radianos.	–
	<b>Parte II</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	3 e 5	Deduzir a formulação das velocidades linear e angular.	–
	<b>Parte III</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	5 a 8	Apresentar o MCU e suas condições e deduzir a relação entre as formulações das velocidades angular e linear.	–
	<b>Parte IV</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	9	Apresentar a relação entre as velocidades angular e linear e o raio da trajetória.	–

Fonte: Elaborada pela autora.

# DESCRIÇÃO

## PARTE I

Esta aula deve iniciar com uma breve discussão com os alunos a respeito de que modo é possível localizar um objeto em função da sua posição dentro de uma trajetória circular, objetivando construir, assim, o conceito de “posição angular”.

No **Slide 2**, será mostrado que a unidade de medida angular que será utilizada é o radiano e, para isso, uma apresentação breve do conceito de “radiano” deve ser realizada em conjunto com a demonstração da transformação das unidades de medida em graus e radianos.

## PARTE II

No **Slide 3**, há dois “GIFs”: **(i)** um que demonstra o movimento da Terra em torno do Sol; e **(ii)** outro que expõe o movimento circular de uma bolinha. A proposta é criar um momento para que os alunos pensem em possíveis caminhos para se calcular a velocidade da Terra enquanto se move em torno do Sol, ou mesmo de qualquer objeto que realize um MCU.

No **Slide 4**, o cálculo da velocidade linear é deduzido por intermédio de um paralelo com o movimento retilíneo e uniforme (**MRU**) e a fórmula da velocidade média, chegando-se, assim, na equação da velocidade linear do MCU.

No **Slide 5**, é necessário partir do mesmo raciocínio da velocidade linear para se chegar na velocidade angular, evidenciando, dessa forma, as equivalências entre os termos “variação da posição linear” e “variação da posição angular” e, por fim, chegando-se a uma das possíveis formulações da velocidade angular para o MCU.

### PARTE III

No **Slide 6**, são apresentados os requisitos para que seja possível considerar que um corpo realiza MCU, ou seja, evidencia-se que precisa ter trajetória circular com velocidade angular constante.

No **Slide 7**, expressa-se o conceito de “variação da posição angular” para definir, no âmbito do **Slide 8**, as outras possíveis formulações para a velocidade angular do MCU.

### PARTE IV

Por fim, o **Slide 9** pretende finalizar esta aula relacionando as fórmulas das velocidades angular e linear, concluindo-se pela associação direta entre elas e o raio da trajetória do corpo.

## AULA 3

**TABELA 4** Resumo geral da Aula 3.

<b>Título</b>	Exercícios de fixação dos conceitos do MCU
<b>Duração</b>	45 minutos
<b>Slides</b>	<b>Anexo 6</b>
<b>Objetivo</b>	Trabalhar com os conceitos de “período”, “frequência”, “velocidade angular” e “velocidade linear” por meio de exercícios para que os estudantes possam relacionar tais conceitos no formato específico de um problema.
<b>Objetivos de Aprendizagem</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Interpretar os enunciados e coletar dados.</li><li>Manipular as fórmulas das velocidades angular e linear.</li><li>Converter unidades de medida.</li></ul>
<b>Estrutura</b>	<pre>graph LR; A[PROPOSIÇÃO DO EXERCÍCIO] --&gt; B[TEMPO DE RESOLUÇÃO INDEPENDENTE]; B --&gt; C[DISCUSSÃO PARA SOLUÇÃO]; C --&gt; D[EXPOSIÇÃO DA RESOLUÇÃO DO EXERCÍCIO];</pre>

Fonte: Elaborada pela autora.

## DESCRIÇÃO

Esta aula deve ser conduzida de modo a apresentar e solucionar cada um dos exercícios propostos (um por vez), considerando **(i)** intervalo de aproximadamente 5 minutos para que os estudantes possam efetuar a resolução do exercício proposto de forma autônoma; **(ii)** momento de discussão para que os estudantes possam debater o exercício proposto; e **(iii)** resolução do exercício proposto de forma expositiva.

# AULA 4

**TABELA 5** Resumo geral da **Aula 4**.

<b>Título</b>	Transmissão de MCU	
<b>Duração</b>	45 minutos	
<b>Slides</b>	<b>Anexo 7</b>	
<b>Objetivo</b>	Relacionar o movimento aparente das estrelas no céu noturno em torno do PSC com o MCU por meio do movimento de rotação da Terra.	
<b>Objetivos de Aprendizagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>👁 Relacionar o movimento das estrelas em torno do PSC e o MCU.</li> <li>👁 Apresentar a transmissão do movimento no MCU: eixos iguais e diferentes.</li> </ul>	
<b>Estrutura</b>	<b>Parte I</b>	
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>
	2	Relembrar as equações do MCU.
		<b>Recurso Digital</b>
		–
	<b>Parte II</b>	
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>
	3 e 4	Apresentar o movimento aparente do céu noturno em <i>time lapse</i> e discutir sobre qual movimento as estrelas parecem fazer no céu.
		<b>Recurso Digital</b>
		Vídeo “Timelapse do céu noturno”
	<b>Parte III</b>	
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>
5	Discutir sobre as velocidades angular e linear de pontos diferentes da superfície terrestre.	
	<b>Recurso Digital</b>	
	–	
<b>Parte IV</b>		
<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	
6	Mostrar, utilizando o simulador, que as estrelas realizam MCU em torno dos polos da Terra.	
	<b>Recurso Digital</b>	
	Simulador “Rotating Sky Explorer”	

(Continuação da Tabela 5 na próxima página)

(Continuação da Tabela 5)

Estrutura	Parte V		
	Slide	Objetivo	Recurso Digital
	2	Apresentar os dois tipos de transmissão de MCU: eixos iguais e diferentes.	–
	Parte VI		
	Slide	Objetivo	Recurso Digital
	3 e 4	Solucionar os exercícios que envolvem a transmissão de MCU das duas formas.	–

Fonte: Elaborada pela autora.

## DESCRIÇÃO

### PARTE I

Esta aula deve iniciar com um momento de revisão das equações do MCU, reforçando os conceitos de “período”, “frequência”, “velocidade linear” e “velocidade angular”, além da relação entre as velocidades linear e angular.

### PARTE II

Utilizar o vídeo “Timelapse do céu noturno” e propor uma discussão envolvendo o movimento aparente das estrelas e o referencial de observação.

[LINK DO VÍDEO](#)

Após os alunos visualizarem o referido vídeo, será necessário mediar uma discussão a partir das seguintes perguntas motivadoras:

-  As estrelas se movimentam?
-  Por que enxergamos esse tipo de movimento no céu?
-  Afinal, quem é que está se movimentando?
-  Como descreveriam o que está acontecendo?
-  O que mudaria se a câmera estivesse fora do planeta Terra em um referencial com velocidade zero?

É importante que essa discussão seja mediada para que o aluno consiga assimilar que o movimento que tal vídeo mostra, na verdade, corresponde ao movimento de rotação da Terra projetado no céu.

### PARTE III

Na sequência, deve ser criado um momento de discussão para analisar se todos os pontos da superfície da Terra manifestam as mesmas velocidades angular e linear. O **Slide 5** contém um “GIF” que exhibe a Terra girando, o qual pode ser utilizado para apontar lugares da superfície da Terra a fim de questionar as velocidades, relacionando-se à ideia de “esticar” o arco da circunferência da Terra para evidenciar que cada ponto percorre uma linha de tamanho diferente, mas com mesmo período “*t*”, bem como demonstrando que isso impacta somente a velocidade linear de cada ponto da superfície terrestre, enquanto a velocidade angular, por sua vez, é a mesma.

### PARTE IV

Nesta parte desta aula, o simulador “Rotating Sky Explorer” deve ser utilizado para mostrar aos estudantes o movimento aparente das estrelas na esfera celeste, evidenciando seus rastros e comparando com a *time lapse* mostrada anteriormente, esclarecendo que o rastro se forma por causa do movimento de rotação da Terra.

## PARTE V

O **Slide 7** trata da construção das velocidades que são iguais para movimentos conectados pelo mesmo eixo (velocidade angular) e, na sequência, para movimentos que são conectados por fios ou engrenagens, mas realizam seus movimentos em eixos distintos (velocidade linear).

No **Slide 8**, são expostas as implicações das velocidades angular e linear serem iguais, chegando-se nas seguintes equações:

### EIXOS IGUAIS

$$\frac{V_a}{R_a} = \frac{V_b}{R_b}$$

### EIXOS DIFERENTES

$$f_A R_A = f_B R_B$$

## PARTE VI

Para finalizar esta aula, deve-se apresentar dois exemplos (**Slides 9 e 10**) de exercícios que relacionam os conceitos de ambos os tipos de transmissão de MCU visando trabalhar os enunciados e a forma como esses problemas que envolvem a transmissão de MCU são apresentados a fim de que o estudante possa entender de que forma as equações vistas durante esta aula podem ser aplicadas para solucionar tais problemas.

## EIXOS IGUAIS

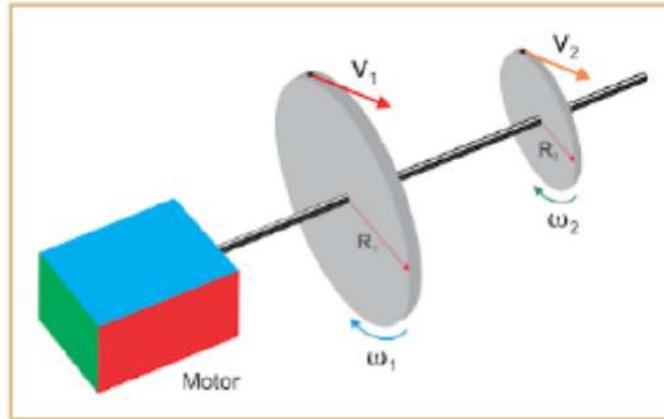
### EXEMPLO I

Duas polias, 1 e 2, giram ligadas ao eixo de um motor. A polia 1 possui raio  $R_1 = 20$  cm, com velocidade angular  $\omega_1 = 12$  rad/s. A polia 2 possui raio  $R_2 = 15$  cm. Determine:

- a frequência  $f_1$  da polia 1;
- a velocidade angular  $\omega_2$  e a frequência  $f_2$  da polia 2; e
- as velocidades lineares  $v_1$  e  $v_2$  dos pontos P e P'.

### FIGURA 3

Figura referente ao **Exemplo I**, que trata de uma transmissão de MCU sobre eixos iguais.



Fonte: Retirada de Ferraro (2011).

## EIXOS DIFERENTES

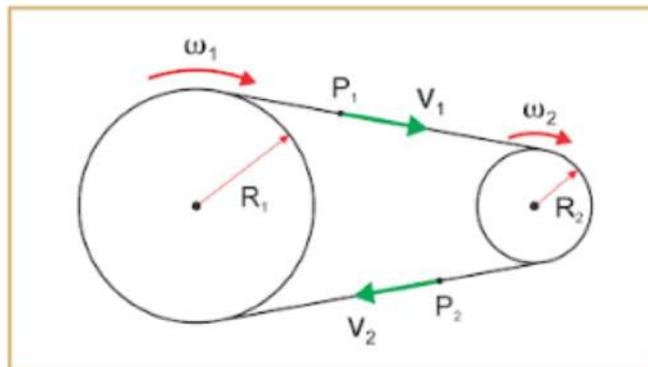
### EXEMPLO II

Duas polias, 1 e 2, são ligadas por uma correia. A polia 1 possui raio  $R_1 = 20$  cm, gira com frequência  $f_1 = 30$  rpm. A polia 2 possui raio  $R_2 = 15$  cm, gira com frequência  $f_2$ . Não há escorregamento da correia sobre as polias. Determine:

- a frequência  $f_2$ ; e
- as velocidades lineares  $v_1$  e  $v_2$  dos pontos  $P_1$  e  $P_2$ .

### FIGURA 4

Figura referente ao **Exemplo II**, que trata de uma transmissão de MCU sobre eixos diferentes.



Fonte: Retirada de Ferraro (2011).

# AULA 5

**TABELA 6** Resumo geral da **Aula 5**.

<b>Título</b>	Exercícios de fixação dos conceitos de transmissão de MCU
<b>Duração</b>	45 minutos
<b>Slides</b>	–
<b>Objetivo</b>	Trabalhar com as equações de transmissão de MCU por meio de exercícios propostos que constam na lista de exercícios presente no <b>Anexo 9</b> .
<b>Objetivos de Aprendizagem</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Interpretar os enunciados e coletar/manipular dados.</li><li>Relacionar as fórmulas de igualdade para cada caso de transmissão.</li><li>Isolar as incógnitas nas equações de transmissão de MCU.</li></ul>
<b>Estrutura</b>	<pre>graph LR; A[PROPOSIÇÃO DO EXERCÍCIO] --&gt; B[TEMPO DE RESOLUÇÃO INDEPENDENTE]; B --&gt; C[DISCUSSÃO PARA SOLUÇÃO]; C --&gt; D[EXPOSIÇÃO DA RESOLUÇÃO DO EXERCÍCIO]; A -.-&gt; C;</pre>

Fonte: Elaborada pela autora.

## DESCRIÇÃO

Esta aula deve ser conduzida de modo a apresentar e solucionar cada um dos exercícios propostos (um por vez), considerando **(i)** intervalo de aproximadamente 5 minutos para que os estudantes possam efetuar a resolução do exercício proposto de forma autônoma; **(ii)** momento de discussão para que os estudantes possam debater o exercício proposto; e **(iii)** resolução do exercício proposto de forma expositiva.

# AULA 6

**TABELA 7** Resumo geral da **Aula 6**.

<b>Título</b>	Atividade prática “Fotografando Estrelas – Parte 1”		
<b>Duração</b>	45 minutos		
<b>Slides</b>	<b>Anexo 10</b>		
<b>Objetivo</b>	Apresentar a atividade “Fotografando Estrelas” utilizando o simulador “Stellarium”, demonstrando o funcionamento de tal simulador e suas principais ferramentas.		
<b>Objetivos de Aprendizagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>👁️ Introduzir o simulador “Stellarium” e suas principais ferramentas: mudança de localização e controle da data e hora.</li> <li>👁️ Apresentar os métodos do experimento “Fotografando Estrelas”: Stellarium (Parte 1) e foto do céu em longa exposição (Parte 2).</li> </ul>		
<b>Estrutura</b>	<b>Parte I</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	1	Apresentar o tema da <b>Aula 6</b> e a foto do céu noturno em longa exposição .	–
	<b>Parte II</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	2	Mostrar por meio do simulador qual é o movimento aparente do céu para um observador no PSC e qual é formato da trajetória das estrelas dessa região no céu.	Simulador “Rotating Sky Explorer”
<b>Estrutura</b>	<b>Parte III</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	3	Apresentar o simulador “Stellarium” e seus recursos.	Site do simulador “Stellarium”

(Continuação da Tabela 7 na próxima página)

(Continuação da Tabela 7)

Parte IV		
Slide	Objetivo	Recurso Digital
4	Apresentar o experimento “Fotografando Estrelas – Parte 1” e sua respectiva atividade.	–
Parte V		
Slide	Objetivo	Recurso Digital
5	Relembrar as fórmulas das velocidades angular e linear do MCU.	–
Parte VI		
Slide	Objetivo	Recurso Digital
6	Apresentar a primeira parte do experimento “Fotografando Estrelas” por meio do simulador “Stellarium”.	–
Parte VII		
Slide	Objetivo	Recurso Digital
7	Apresentar o formato de entrega e estabelecer o prazo para entrega da atividade.	–

Estrutura

Fonte: Elaborada pela autora.

## DESCRIÇÃO

### PARTE I

Esta aula deve ser iniciada com a exibição da foto do céu em longa exposição (**Anexo 11**), evidenciando os rastros das estrelas e mostrando o aspecto circular das trajetórias. Simultaneamente, um espaço de discussão deve ser criado com apoio das seguintes perguntas disparadoras:

- 
- Será que é possível calcular a velocidade dessas estrelas apenas com essa foto?
- 
- O que seria necessário para calcular isso?

Isso deve ser feito para que os estudantes tenham a oportunidade de elaborar um método que possa se aproximar do proposto pelo experimento “Fotografando Estrelas”, que será apresentado ao fim desta aula. Tal método consiste em utilizar o rastro como parte do MCU e calcular a velocidade a partir desse rastro usando as equações do MCU.

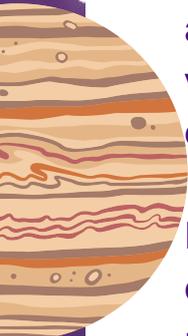


Para aguçar a reflexão dos alunos acerca do método, sugere-se que uma nova discussão seja iniciada a partir das seguintes perguntas disparadoras:

- 
- Como usar esse rastro?
- 
- Caso algum aluno diga que seria possível usar o rastro como parte da trajetória do MCU, pode-se questioná-lo o que seria necessário para calcular o tamanho desse arco?
- 
- Utilizar a régua seria uma boa precisão?

## PARTE II

Nesta parte desta aula, é necessário verificar o **Roteiro 4 (Anexo 8)** para acessar o simulador “Rotating Sky Explorer”, por meio do qual é possível visualizar os rastros das estrelas em torno do PSC para, assim, comparar com os rastros da foto original mostrada no início desta aula.



Enquanto os alunos observam a simulação, deve ser iniciada uma discussão para tratar sobre a questão de a velocidade angular ser igual para qualquer ponto da superfície da Terra, contrastando com a velocidade linear, que é diferente para a mesma situação por consequência do raio das circunferências, tendo em vista que, quanto mais próximo dos polos da Terra, tal raio diminui, por outro lado, quanto mais próximo da Linha do Equador, tal raio aumenta.



### PARTE III

Se os alunos forem fazer a atividade nos computadores das suas casas, esta parte desta aula pode ser utilizada para abrir, em conjunto com os alunos, o site do simulador “Stellarium” e mostrar como navegar na página, baixar a versão desse simulador para o computador pessoal dos alunos – as instruções para isso estão contidas no começo do **Roteiro 5 (Anexo 12)**, que se refere ao experimento “Fotografando Estrelas – Parte 1”.

Recomenda-se que os seguintes aspectos do simulador “Stellarium” sejam ressaltados para os alunos:

- 👁️ Apresentação geral do layout do simulador, mostrando onde ficam suas opções e ferramentas.
- 👁️ Demonstração do passo a passo para modificar a localização da observação.
- 👁️ Exposição do passo a passo para modificar a data de observação.
- 👁️ Destaque de alguns exemplos de datas especiais e histórias, como dias de eclipse, entre outras.

Se os alunos forem realizar a atividade no computador da escola, este momento desta aula pode ser aproveitado para ministrar uma aula com foco na exploração das ferramentas e possibilidades do simulador “Stellarium”, deixando os alunos manipularem o simulador.

### PARTE IV

Neste momento, a primeira parte do experimento “Fotografando Estrelas” deve ser apresentada, no âmbito da qual o simulador “Stellarium” deve ser utilizado, sendo que a coleta de dados (**Roteiro 5 – Anexo 12**) precisa ocorrer por meio do referido simulador, deixando espaço para o diálogo com os estudantes. Preliminarmente, o objetivo da primeira parte do experimento deve ser evidenciada, a saber: calcular as velocidades angular e linear da Terra com apoio do simulador “Stellarium”.

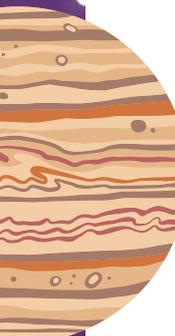
Deve ser destacado também que o objetivo é escolher uma região do céu e capturar duas telas referentes à mesma estrela considerando um determinado intervalo de tempo. Com tais telas capturadas, é possível descobrir a variação angular que ocorreu durante o intervalo de tempo escolhido de dois jeitos: (i) imprimindo as duas telas capturadas, sobrepor as impressões e usar o transferidor; e (ii) utilizando o *software* “Geogebra” e, com isso, determinar a velocidade angular da Terra a partir da seguinte fórmula:


$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Na sequência, com o valor de  $\omega$  determinado, pode-se utilizar o valor do raio da Terra para calcular a velocidade linear de um ponto em cima da Linha do Equador com a seguinte equação:

$$V = \omega \cdot R$$

Depois, a segunda parte do experimento será abordada, na qual o método consiste na coleta de dados por intermédio da foto em longa exposição. Preliminarmente, deve-se explicar o objetivo da segunda parte do experimento, qual seja: calcular as velocidades angular e linear da Terra usando a foto do céu noturno em longa exposição.



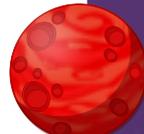
Nesse segundo método, evidencia-se que é viável substituir as telas capturadas utilizando o simulador “Stellarium” por uma foto real do céu, realizada em longa exposição, que mostre o rastro da estrela em um determinado tempo. O método para coletar os dados dos rastros da estrela na foto e calcular a variação angular está contido no **Roteiro 7 (Anexo 17)**, a ser utilizado especificamente na segunda parte do experimento.





No mais, utiliza-se as duas mesmas equações apresentadas anteriormente para determinar as velocidades angular e linear da Terra. As duas partes do experimento “Fotografando Estrelas – Parte 1” se diferem apenas quanto ao método aplicado para coletar a variação angular, verificando-se que no primeiro método a variação angular é obtida com auxílio de telas capturadas de um simulador referentes à estrela em dois momentos diferentes, enquanto no segundo método o próprio rastro da estrela, capturado por uma foto em longa exposição, é considerado.

## PARTE V



Nesta parte desta aula, as fórmulas do MCU que devem ser utilizadas pelos alunos para realizar os cálculos devem ser mostradas. A princípio, faz-se necessário expor que a velocidade angular depende da variação da posição angular e do intervalo de tempo, conforme prevê a primeira fórmula apresentada na **Parte IV** desta aula. Aqui, recomenda-se questionar aos alunos de que modo seria possível calcular a variação da posição angular da trajetória da estrela mostrada no simulador “Rotating Sky Explorer” na **Parte II** desta aula.

Em seguida, deve-se mostrar que, assim que os alunos conseguirem calcular a velocidade angular de um objeto, é possível obter a sua velocidade linear se for conhecido o raio da trajetória com amparo da segunda fórmula apresentada na **Parte IV** desta aula. Sugere-se que seja evidenciado que, para a velocidade linear, considera-se o referencial de um observador situado no Equador para utilizar o raio da Terra nessa última equação mencionada.



## PARTE VI

Neste momento, é necessário apresentar os roteiros que os estudantes devem fazer uso para realizar o experimento “Fotografando Estrelas – Parte 1”, sendo que o primeiro roteiro está relacionado à coleta de dados (**Roteiro 5 – Anexo 12**), enquanto o segundo roteiro serve para trabalhar os dados coletados de acordo com as equações do MCU (**Roteiro 6 – Anexo 13**).

A princípio, o **Roteiro 5 (Anexo 12)** deve ser explorado em conjunto com os alunos visando explicar, de forma geral, que tal roteiro serve para ajudá-los na manipulação do simulador “Stellarium”, isto é, pode ser considerado como um passo a passo para que consigam capturar as telas do simulador referentes à estrela e, nesse sentido, concretizar a primeira parte do experimento. Se possível, recomenda-se abrir o simulador “Stellarium” em sala de aula e capturar as telas de uma estrela, evidenciando-se o lugar em que estão localizados os instantes de captura das telas, além de indicar a forma de salvar essas telas capturadas no computador para que os alunos entendam. Alternativamente, pode-se exibir o vídeo gravado que expõe todo esse percurso e está presente na parte final do **Roteiro 5 (Anexo 12)**.

Na sequência, o **Roteiro 6 (Anexo 13)** deve ser percorrido em conjunto com os alunos de forma a destacar que a primeira parte do roteiro estabelece dois jeitos de efetuar o cálculo da variação da posição angular da estrela nos dois momentos das telas capturadas do simulador, a saber: **(i)** um que envolve a necessidade de impressão de tais telas capturadas, bem como de um transferidor, sendo que o passo a passo está descrito como forma de tutorial no próprio roteiro; e **(ii)** outro totalmente virtual, no qual o *software* “Geogebra” é utilizado, sendo que o passo a passo está contido no seguinte vídeo:

[LINK DO VÍDEO](#)

Deve-se ressaltar que no primeiro método é necessário imprimir as telas capturadas do simulador para conseguir usar o transferidor, enquanto no segundo método é preciso aprender a mexer no *software* “Geogebra” e assistir o referenciado vídeo.

Após a visualização do vídeo, verifica-se que, ao final do roteiro para análise de dados, há algumas tabelas para preencher com os valores achados pelos alunos quanto às velocidades angular e linear da Terra, sugerindo-se aqui o enfoque nas unidades de medida e nos possíveis erros que os alunos podem cometer.

## PARTE VII

Conforme consta no **Anexo 14**, a entrega do experimento pode ser feita tanto presencialmente quanto à distância por meio do seguinte formulário do Google Forms:

[LINK DO FORMULÁRIO](#)

Quanto ao prazo de entrega da atividade a ser estabelecido, sugere-se o prazo de 1 semana para o modelo presencial e de 2 semanas para o modelo à distância, sendo também recomendado a disponibilização de um horário de atendimento, como um plantão de dúvidas, para os alunos tirarem dúvidas sobre o experimento.

# AULA 7

**TABELA 8** Resumo geral da **Aula 7**.

<b>Título</b>	Função horária da posição angular no MCU		
<b>Duração</b>	45 minutos		
<b>Slides</b>	<b>Anexo 15</b>		
<b>Objetivo</b>	Trabalhar a função horária da posição angular no MCU enquanto uma ferramenta matemática que faz previsões sobre tal movimento.		
<b>Objetivos de Aprendizagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>👁 Relacionar as equações horárias da posição do MRU e do MCU.</li> <li>👁 Aplicar a equação horária da posição do MCU para resolução de problemas que envolvem previsão da posição em tempos distintos.</li> </ul>		
<b>Estrutura</b>	<b>Parte I</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	2 e 3	Comparar e apresentar a relação entre as funções horárias da posição no MRU e no MCU.	–
	<b>Parte II</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	4	Deduzir a função horária do MCU.	–
	<b>Parte III</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	5 e 6	Praticar exercícios.	–

Fonte: Elaborada pela autora.

# DESCRIÇÃO

## PARTE I

Esta aula deve iniciar com a demonstração da equação horária referente à posição do MRU para estabelecer a relação direta com a equação horária do MCU, destacando as equivalências entre as posições iniciais linear ( $S_0$ ) e angular ( $\Theta_0$ ); as velocidades linear ( $v$ ) e angular ( $\omega$ ); e as posições linear ( $S(t)$ ) e angular ( $\Theta(t)$ ) – considerando-se aqui um “t” qualquer – com objetivo de simplificar o entendimento a partir da comparação de um equação já conhecida e estudada pelos alunos.

## PARTE II

Esta parte desta aula deve ser dedicada à apresentação da dedução matemática da equação horária da posição angular para o MCU, evidenciando a dependência da posição com o tempo.

## PARTE III

O fim da aula precisa ser destinado a resolver um exemplo de exercício que utiliza a equação horária da posição do MCU como solução para que os estudantes se apropriem da lógica de utilização da equação.

Sugere-se a proposição de um exercício para que os alunos tentem realizar sozinhos esse percurso em busca da solução do problema utilizando a equação horária para ambientá-los com essa dinâmica.

Por fim, é necessário que o exercício seja resolvido de forma expositiva a fim de abrir espaço para que os alunos questionem a solução do exercício e esclareçam suas dúvidas.

# AULA 8

**TABELA 9** Resumo geral da **Aula 8**.

<b>Título</b>	Atividade prática “Fotografando Estrelas – Parte 2”		
<b>Duração</b>	45 minutos		
<b>Slides</b>	<b>Anexo 16</b>		
<b>Objetivo</b>	Apresentar o experimento “Fotografando Estrelas – Parte 2”, que será conduzido a partir do uso da foto do céu em longa exposição, introduzir outras unidades de medida para a frequência angular e praticar a resolução de problemas que envolvem o MCU por meio de exercícios de fixação.		
<b>Objetivos de Aprendizagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>👁️ Introduzir as unidades de medida de frequência: rotação por minuto (<b>RPM</b>) e rotação por segundo (<b>RPS</b>).</li> <li>👁️ Solucionar problemas que envolvem o MCU.</li> </ul>		
<b>Estrutura</b>	<b>Parte I</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	2	Criar espaço para discutir com os alunos suas dúvidas relacionadas ao experimento “Fotografando Estrelas – Parte 1”.	–
	<b>Parte II</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	2	Apresentar o roteiro do experimento “Fotografando Estrelas – Parte 2”.	Formulário do Google Forms
	<b>Parte III</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	3	Apresentar outras unidades de medida para medir a frequência, bem como a possibilidade de conversão de tais unidades de medida em Hertz, unidade de medida do Sistema Internacional de Medidas.	–
	<b>Parte IV</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	4 a 6	Praticar exercícios com temas gerais do MCU.	–

Fonte: Elaborada pela autora.

# DESCRIÇÃO

## PARTE I

Esta aula deve ser iniciada com a criação de um espaço os alunos esclarecerem suas dúvidas quanto ao experimento “Fotografando Estrelas – Parte 1” e, em seguida, apresentação da proposta de atividade que tem como objetivo avaliar tal parte do experimento.

## PARTE II

Nesta parte da aula, os alunos devem ser apresentados ao **Roteiro 7 (Anexo 17)**, o qual deve ser utilizado por eles para realizar o experimento “Fotografando Estrelas – Parte 2” a partir do uso de uma foto do céu em longa exposição. O objetivo é evidenciar que, diferentemente do experimento “Fotografando Estrelas – Parte 1”, aqui a variação angular será obtida por meio dos rastros das estrelas coletados na foto do céu em longa exposição.

Preliminarmente, a foto do céu em longa exposição deve ser mostrada aos alunos simultaneamente a uma introdução quanto ao tempo de exposição durante o qual essa foto foi capturada. Caso esteja utilizando a foto que este trabalho disponibiliza, o tempo de exposição equivale a 1043,2 segundos. Caso os próprios estudantes tenham conseguido capturar a sua própria foto do céu em longa exposição, é possível utilizar qualquer foto do céu em longa exposição para seguir com a explicação da atividade prática.

Na foto disponibilizada por este trabalho não é possível localizar o PSC pois existem árvores cobrindo essa parte da imagem, portanto, caso tal foto for utilizada, ou uma foto com uma circunstância similar, será necessário explicar de que forma determinar o PSC mesmo que este não esteja aparente.

Para isso, é primordial fazer uso do *software* “Geogebra”, que indica onde está localizado o PSC, o que possibilita calcular com boa precisão a variação angular dos arcos formados pelos rastros das estrelas no intervalo de tempo durante o qual a foto foi capturada.

O passo a passo para utilizar o *software* “Geogebra” está disponível no seguinte vídeo autoral:



[LINK DO VÍDEO](#)

O vídeo acima aborda, basicamente, os seguintes tópicos:

- 👁️ Forma de colocar a foto em longa exposição dentro do *software* “Geogebra”.
- 👁️ Modo de identificação de cada rastro das estrelas por meio de dois pontos, marcando o início e o fim de cada rastro – destaca-se aqui que apenas dois rastros podem ser utilizados, no entanto, quanto mais, mais precisas são as medidas.
- 👁️ Técnica para traçar a mediatriz dos pontos adicionados em cada rastro.
- 👁️ Procedimento para achar o ponto de intersecção das mediatrizes que representa, para a foto em uso no experimento “Fotografando Estrelas – Parte 2”, o PSC.
- 👁️ Explicação de que, com os pontos iniciais e finais de cada rastro e o PSC, é possível calcular a variação angular do rastro que está em graus e, posteriormente, converter essa medida em radianos para que possa ser utilizada dentro da fórmula do MCU.
- 👁️ Técnica para chegar à medida de cada rastro e sinalização da importância da quantidade de medidas para o experimento.

Neste momento, será necessário abrir o **Roteiro 7 (Anexo 17)**, referente ao experimento “Fotografando Estrelas – Parte 2”, para que os estudantes acompanhem os passos 4 e 5. Deve-se esclarecer de que forma preencher tal roteiro e qual é o caminho a ser percorrido para a velocidade de rotação da Terra ser encontrada a partir do método aplicado na segunda parte do referido experimento.

Inicialmente, o espaço que serve para anotar os valores das variações angulares obtidas por intermédio do *software* “Geogebra” deve ser mostrado (exemplo abaixo), além de caber o lembrete a respeito da relação de conversão entre graus e radianos (fórmula abaixo).

Nº do rastro	1	2	3	4
$\Delta\theta$ (graus)				
$\Delta\theta$ (radianos)				

$$180^\circ = \pi \text{ RADIANOS}$$

Na sequência, sugere-se que seja comentado que, a partir dos dados de variação angular e tempo de exposição da foto utilizada, os alunos conseguem utilizar a fórmula da velocidade angular para calcular, conseqüentemente, a velocidade angular desses rastros:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Em seguida, recomenda-se que seja mostrada a equação a seguir, que permite calcular a velocidade linear do rastro, lembrando que o “R” da fórmula corresponde ao raio da Terra (isto é, 6.371.000 metros) para um ponto na Linha do Equador.

$$V = \omega \cdot R$$

Com esses dados em mãos, faz-se necessário evidenciar que o aluno deve organizar cada rastro em uma planilha como a seguinte:

Nº do rastro	1	2	3	4
$\Delta\theta$ (graus)				
$\Delta\theta$ (radianos)				
$\omega$ (rad/s)				
v (m/s)				
v (km/h)				

Ainda, é importante sinalizar o valor de referência para as velocidades, quais sejam:

$$\omega = 7,29 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$$

OU

$$0,0000729 \text{ rad/s}$$

$$V = 465 \text{ m/s}$$

OU

$$1675 \text{ km/h}$$

Adicionalmente, os alunos devem evidenciar os valores obtidos na planilha a seguir:

Grandeza	Experimental	Teórico
Velocidade angular média $\omega$ (rad/s)		$7,29 \times 10^5$
Velocidade escalar média $v$ (m/s)		465

O final do **Roteiro 7 (Anexo 17)** sinaliza a necessidade de indicar para os alunos a forma como os dados devem ser entregues. Caso a entrega seja no formato à distância, ela pode ocorrer por meio de um formulário do Google Forms como o seguinte:

[LINK DO FORMULÁRIO](#)

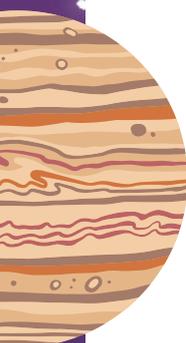
Porém, há uma versão da atividade no **Anexo 18** para o caso de ela acontecer presencialmente. Quanto ao prazo de entrega da atividade a ser estabelecido, sugere-se o prazo de 1 semana para o modelo presencial e de 2 semanas para o modelo à distância, sendo também recomendado a disponibilização de um horário de atendimento, como um plantão de dúvidas, para os alunos tirarem dúvidas sobre o experimento.

### PARTE III

Nesta parte desta aula, deve-se explicar para os alunos que a unidade de medida RPM, comumente utilizada para medir a frequência angular, pode ser convertida para Hertz.

## PARTE IV

Por fim, deve-se aplicar exercícios de fixação para os alunos, os quais precisam englobar mudanças de unidades de frequência. Recomenda-se que os alunos tenham tempo para tentar solucionar tais exercícios de forma independente e tirar suas dúvidas individualmente antes de prosseguir com a resolução dos exercícios de forma expositiva.



# AULA 9

**TABELA 10** Resumo geral da **Aula 9**.

<b>Título</b>	Exercícios do MCU de alta complexidade		
<b>Duração</b>	45 minutos		
<b>Slides</b>	<b>Anexo 19</b>		
<b>Objetivo</b>	Finalizar o experimento “Fotografando Estrelas – Parte 2” e praticar exercícios e problemas do MCU de alta complexidade que aparecem nos grandes vestibulares do país, bem como discutir os modos de interpretação e resolução de tais exercícios.		
<b>Objetivos de Aprendizagem</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Interpretar os enunciados e coletar/manipular dados.</li><li>Compreender e praticar de que modo escolher a fórmula correta que deve ser utilizada como ferramenta para resolução dos problemas propostos.</li></ul>		
<b>Estrutura</b>	<b>Parte I</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	1	Finalizar o experimento “Fotografando Estrelas – Parte 2” utilizando um espaço de discussão com os alunos para esclarecer suas dúvidas e/ou auxiliar em suas dificuldades quanto ao experimento, além de conhecer suas impressões sobre a atividade.	–
	<b>Parte II</b>		
<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>	
2 e 3	Trabalhar exercícios de alta complexidade que envolvam o MCU para discussão e elaboração coletiva de métodos de resolução de exercícios.	–	

Fonte: Elaborada pela autora.

# DESCRIÇÃO

## PARTE I

Caso a atividade prática “Fotografando Estrelas – Parte 2” tenha sido realizada no formato presencial, esta aula deve iniciar com o recolhimento dos roteiros do experimento em concomitância com a criação de um espaço de discussão para que os estudantes tragam suas impressões e problemáticas sobre a atividade. Por outro lado, caso o experimento tenha sido realizado no formato à distância, um espaço deve ser aberto durante esta aula para que os estudantes esclareçam suas dúvidas sobre o experimento.

## PARTE II

Esta parte desta aula deve ser conduzida de modo a apresentar e solucionar cada um dos exercícios propostos (um por vez), considerando **(i)** intervalo de aproximadamente 5 minutos para que os estudantes possam efetuar a resolução do exercício proposto de forma autônoma; **(ii)** momento de discussão para que os estudantes possam debater o exercício proposto; e **(iii)** resolução do exercício proposto de forma expositiva.

# AULA 10

**TABELA 11** Resumo geral da **Aula 10**.

<b>Título</b>	Finalização da atividade prática “Fotografando Estrelas”		
<b>Duração</b>	45 minutos		
<b>Slides</b>	–		
<b>Objetivo</b>	Finalizar o tema MCU apresentando alguns resultados dos alunos identificados no âmbito do experimento “Fotografando Estrelas” e apontando a proximidade dos valores encontrados pelos alunos do valor real. Também, discutir a efetividade dos métodos utilizados para estudar o MCU.		
<b>Objetivos de Aprendizagem</b>	<p>👁 Fechar a SD de dez aulas de modo a permitir que os estudantes avaliem todo o processo a partir de suas impressões e experiências, destaquem a diferença entre os métodos utilizados, abordem os desafios e dificuldades enfrentados e sinalizem o quanto os conceitos de MCU foram absorvidos.</p>		
<b>Estrutura</b>	<b>Parte I</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
	–	Criar uma discussão com os estudantes no sentido de mostrar os resultados da velocidade de rotação da Terra obtidos a partir dos experimentos realizados a fim de comparar tais resultados com os valores teóricos, além de indicar os erros observados quanto às medidas, à conversão de unidades e à execução do experimento.	–
	<b>Parte II</b>		
	<b>Slide</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Recurso Digital</b>
–	Criar uma discussão com os alunos sobre suas percepções em relação ao MCU e seu cotidiano a fim de verificar se os conceitos do MCU foram absorvidos.	–	

Fonte: Elaborada pela autora.

# DESCRIÇÃO

## PARTE I

Esta aula deve ser iniciada com a elaboração de uma planilha na lousa (exemplo abaixo) apresentando alguns resultados dos alunos e misturando resultados que chegaram bem próximos do valor teórico e resultados que ficaram distantes do valor esperado. É importante aqui discutir com os alunos o que seria “perto do valor esperado” e “longe do valor esperado”, tratando um pouco da ordem de grandeza dos números.

Aluno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\omega$ (rad/s)										
$v$ (km/h)										

Na sequência, um espaço de discussão deve ser aberto para abordar os problemas identificados durante realização do experimento “Fotografando Estrelas”, por exemplo, erros na conversão de unidades e nas fórmulas aplicadas e mau uso do *software* “Geogebra”, do transferidor e do simulador “Stellarium”, entre outros. Tal diálogo é importante para que os alunos consigam verificar por si mesmos nos seus respectivos experimentos quais foram suas dificuldades e de que forma isso impactou seus respectivos resultados. Para ajudar, sugere-se a inclusão de trechos dos trabalhos em um PPT e mostrar cada problema observado, corrigindo-os, caso seja possível, a fim de demonstrar que, com a correção, os valores encontrados ficam mais próximos do esperado.

## PARTE II

Para finalizar esta aula, é pertinente começar outra discussão com os alunos sobre a modificação de sua percepção sobre o MCU após o experimento realizado, isto é, questionar se eles conseguem observar o MCU no seu cotidiano, visando, assim, estimulá-los a refletir sobre o assunto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DINIZ, Leonardo Gabriel. Trilhas de estrelas. **GEDAI**, Belo Horizonte, 22 jul. 2019. Disponível em: <https://www.gedai.cefetmg.br/2019/07/22/trilha-de-estrelas/>. Acesso em: 01 jan. 2024.

FERRARO, Nicolau Gilberto. Resolução de preparando-se para as provas: Movimento Circular Uniforme (MCU) (II). **Os Fundamentos da Física**, [S.I.], 5 fev. 2011. Disponível em: <https://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2011/02/resolucao-de-preparando-se-para-as.html>. Acesso em: 01 jan. 2024.

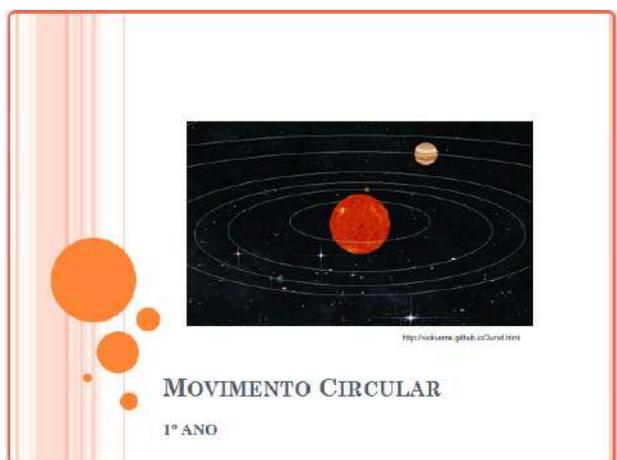
MEU SISTEMA SOLAR. **PhET Interactive Simulations**, Boulder, 2024. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/sims/html/my-solar-system/latest/my-solar-system\\_all.html?locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/html/my-solar-system/latest/my-solar-system_all.html?locale=pt_BR). Acesso em: 01 jan. 2024.

# ANEXO 1

O Anexo 1 corresponde aos slides da Aula 1, os quais podem ser acessados por meio do seguinte link:

[LINK DOS SLIDES](#)

Para fácil referência, tais slides também podem ser verificados adiante.



TIPOS DE MOVIMENTO

- [Movimentos da Joaquina](#)

ENTRE OS MOVIMENTOS CIRCULARES

- [Movimentos diferentes](#)

MOVIMENTO CIRCULAR  
1º ANO



PERÍODO E FREQUÊNCIA

- [Comparação das órbitas](#)

SISTEMA SOLAR

## PERÍODO (T)

Chamamos *período do movimento (T)* o intervalo de tempo que estes ciclos levam até se repetirem, ou seja, o tempo de uma volta completa.

No sistema internacional, o período de um movimento é dado na unidade de segundos (s).

## EXEMPLOS



Planeta	Período de Rotação	Período de Translação
Mercúrio	58,6 dias	87,97 dias
Vênus	243 dias	224,7 dias
Terra	0,99 dia	365,26 dias
Marte	1,03 dias	1,88 anos
Júpiter	0,41 dia	11,86 anos
Saturno	0,45 dia	29,46 anos
Urano	0,72 dia	84,01 anos
Netuno	0,67 dia	164,79 anos
Plutão	6,39 dias	248,54 anos

## FREQUÊNCIA (F)

Chamamos de *frequência do movimento (f)* o número de repetições do movimento ( $n$ ) em um determinado intervalo de tempo ( $\Delta t$ ), ou seja:

$$f = \frac{n^{\circ} \text{ de voltas}}{\text{intervalo de tempo}}$$

A unidade da frequência é  $s^{-1}$ , que chamamos de Hertz (Hz).

## EXEMPLOS



Planeta	Período de Rotação	Período de Translação
Mercúrio	58,6 dias	87,97 dias
Vênus	243 dias	224,7 dias
Terra	0,99 dia	365,26 dias
Marte	1,03 dias	1,88 anos
Júpiter	0,41 dia	11,86 anos
Saturno	0,45 dia	29,46 anos
Urano	0,72 dia	84,01 anos
Netuno	0,67 dia	164,79 anos
Plutão	6,39 dias	248,54 anos

## RELAÇÃO ENTRE PERÍODO E FREQUÊNCIA

- Se olharmos para a fórmula da frequência:

$$f = \frac{n^{\circ} \text{ de voltas}}{\text{intervalo de tempo}}$$

- Se quisermos que o número de voltas seja igual a 1, qual é o tempo de uma volta?

$$f = \frac{1}{T}$$

Temos que a frequência é o inverso do período e o período o inverso da frequência.

## EXERCÍCIO

- Uma escova de dentes elétrica completa 90 ciclos a cada segundo. Qual é (a) a sua frequência e (b) o seu período?

1. (a) 90 ciclos por segundo é 90 Hz; (b) 1/90 s.

- Rajadas de vento fazem a Willis Tower, em Chicago, oscilar para trás e para frente completando ciclos a cada 10 s. Qual é (a) a sua frequência e (b) o seu período?

2. (a) 1/10 s; (b) 10 s.

## ANEXO 2

O **Anexo 2** apresenta o **Roteiro 1**, que deve ser utilizado na **Parte I** da **Aula 1** e pode ser acessado por meio do seguinte link:

[LINK DO ROTEIRO](#)

Ainda, as diretrizes do **Roteiro 1** estão disponíveis abaixo.

## ROTEIRO 1

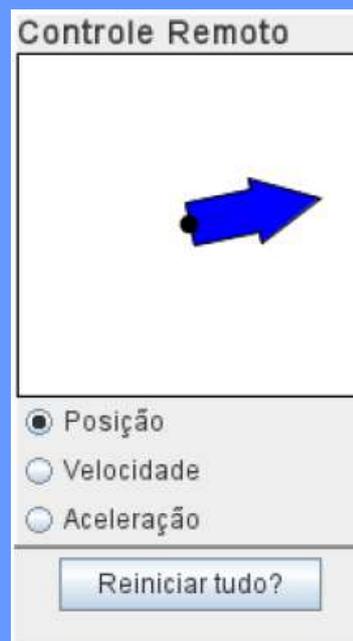
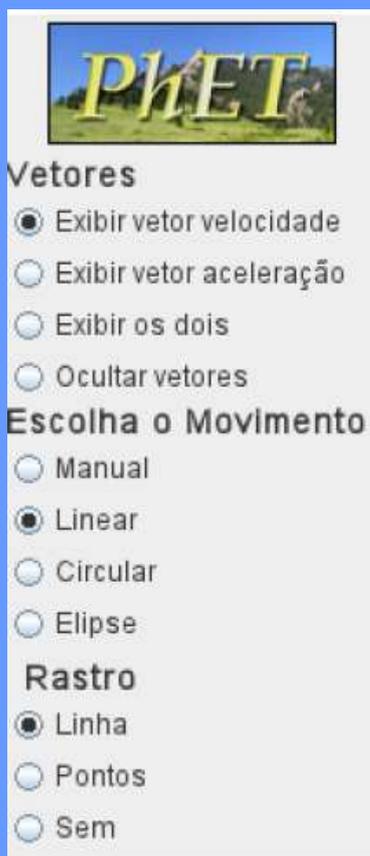
- 1 Acesse o simulador “Giro 2D da Joaquina” por meio do link abaixo.

[LINK DO SIMULADOR](#)

- 2 Ao abrir o simulador, acesse o menu lateral direito e selecione as seguintes opções:

- Vetores: Exibir vetor velocidade.
- Escolha o movimento: Linear (ao selecionar a opção de movimento, o simulador funcionará imediatamente).
- Rastro: Linha.
- Controle remoto: Posição.

A seguir, há capturas de tela apresentando o menu lateral direito do simulador para melhor elucidação desta etapa.



- 3 Selecione primeiramente a opção “Linear” para poder diferenciá-lo do circular, evidenciando tanto o formato da trajetória quanto o fato de o vetor velocidade não mudar sua direção durante todo o percurso.
- 4 Em seguida, na opção “Escolha o Movimento”, mude para “Circular” e questione se fatores se diferenciam do movimento anterior: formato da trajetória e mudança de direção do vetor velocidade.
- 5 Mostre também a opção manual e elipse com o objetivo de ampliar as possibilidades de movimentos e evidenciar que o movimento circular é um tipo específico entre diversos tipos de movimentos possíveis.

## ANEXO 3

O Anexo 3 apresenta o Roteiro 2, que deve ser utilizado na Parte II da Aula 1 e está disponível no link a seguir:

[LINK DO ROTEIRO](#)

Ainda, as diretrizes do Roteiro 2 estão disponíveis abaixo.

## ROTEIRO 2

- 1 Acesse o simulador “Gravidades e Órbitas” por meio do link abaixo.

[LINK DO SIMULADOR](#)

- 2 Ao abrir o simulador, selecione a opção “Modelo”, conforme captura de tela a seguir.

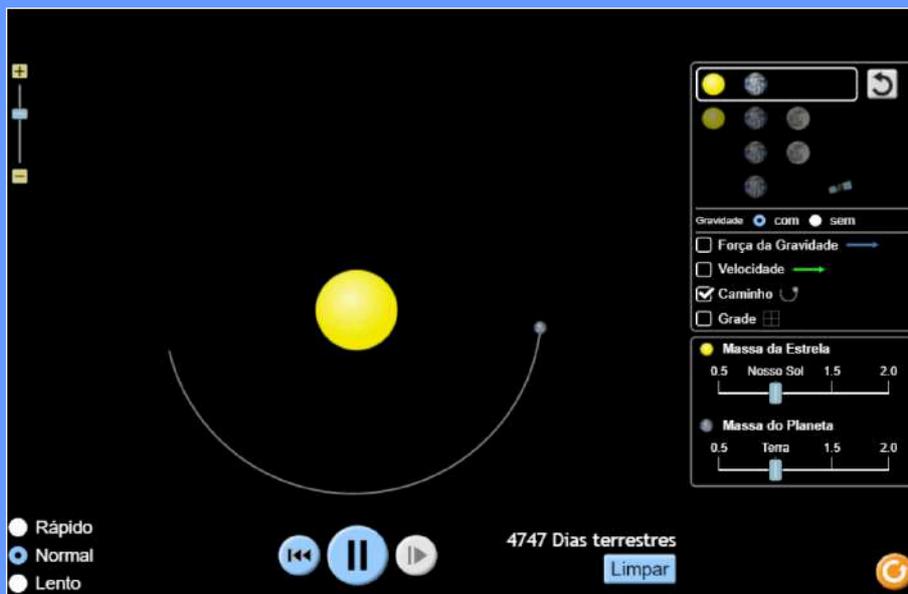


3 Em seguida, no menu inferior direito, selecione a opção “Normal”.

4 No menu direito, selecione:

- “Sol” e Terra”
- “com” (Gravidade).
- “Caminho”.
- Direcione o apontador para “Nosso Sol” (Massa da Estrela).
- Direcione o apontador para Terra (Massa do Planeta).

5 Aperte o símbolo “Play” para iniciar a simulação, conforme demonstrado na captura de tela abaixo.

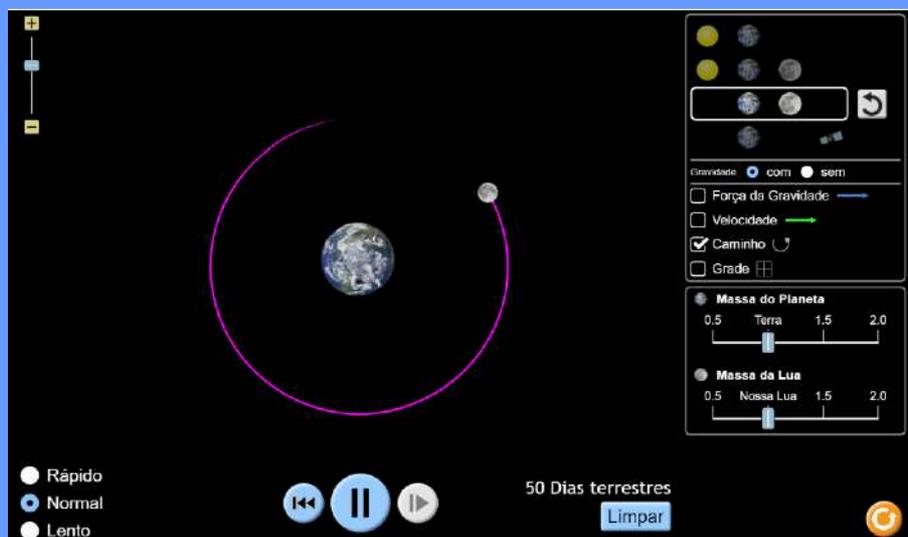


6 A partir da observação da simulação realizada, para que os alunos discorram a respeito das características do movimento verificado, considerando tanto a trajetória circular e repetitiva quanto a o vetor “velocidade”, proponha uma discussão aberta com auxílio da seguinte questão disparadora: “Se você fosse descrever esse movimento com o máximo de características possíveis, como faria?”.

7 A fim de mostrar as semelhanças dos movimentos dos vetores “Sol e Terra” e “Terra e Lua”, selecione no menu direito:

- “Terra” e “Lua”
- “com” (Gravidade).
- “Caminho”.
- Direcione o apontador para “Terra” (Massa do Planeta).
- Direcione o apontador para “Nossa Lua” (Massa da Lua).

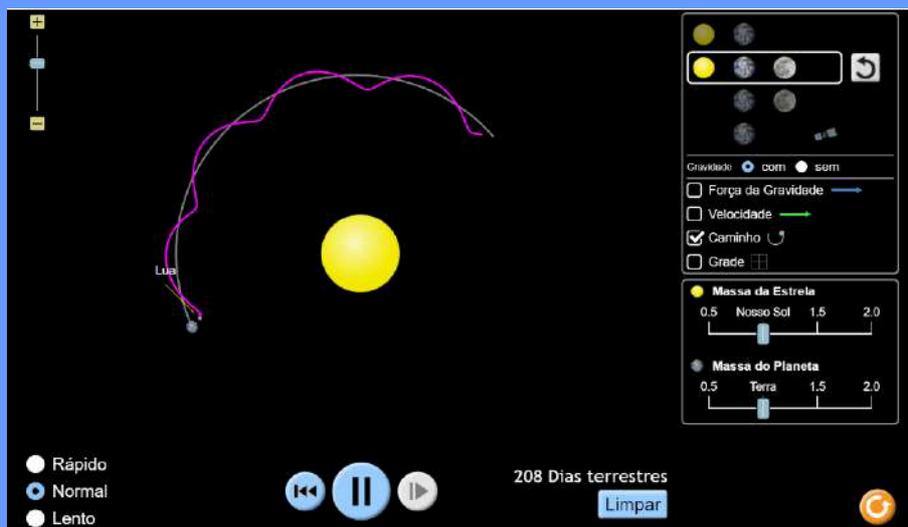
A captura de tela a seguir elucida melhor as opções a serem selecionadas.



8 A fim de mostrar a composição dos movimentos anteriores quando vistos de um referencial “fora” do sistema, selecione no menu direito:

- “Sol”, “Terra” e “Lua”
- “com” (Gravidade).
- “Caminho”.
- Direcione o apontador para “Nosso Sol” (Massa da Estrela).
- Direcione o apontador para “Terra” (Massa do Planeta).

A captura de tela a seguir elucida melhor as opções a serem selecionadas.



- 9 Evidencie a diferença entre (i) observar somente o movimento de rotação da Lua em torno da Terra; e (ii) observar, também, o movimento de translação da Lua em torno do Sol.

## ANEXO 4

O **Anexo 4** contém o **Roteiro 3**, utilizado na **Parte III** da **Aula 1**, que pode ser acessado por meio do seguinte link:

[LINK DO ROTEIRO](#)

Ainda, as diretrizes do **Roteiro 3** estão disponíveis abaixo.

## ROTEIRO 3

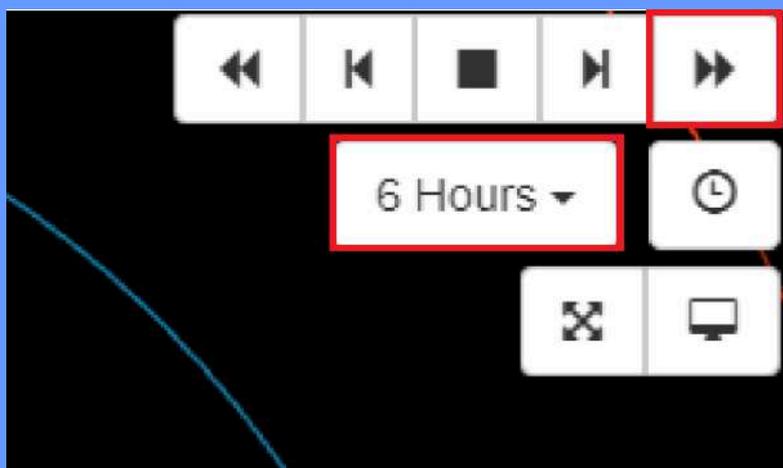
- 1 Acesse o simulador “Solar System Dynamics” por meio do link abaixo.

[LINK DO SIMULADOR](#)

- 2 Ao abrir o simulador, use o mouse para mudar o referencial de observação do movimento para uma observação de cima para baixo clicando na tela que contém a simulação e arrastando o cursor do mouse para a posição desejada.
- 3 Use o “scroll” do mouse para mexer no “zoom” de forma que seja possível visualizar algumas órbitas planetárias, conforme é possível observar na captura de tela destacada a seguir.



- 9 No menu superior direito, selecione a opção “6 Hours” e clique uma vez no botão “Avançar” para que a simulação comece, conforme sinalizado em vermelho na captura de tela a seguir.



# ANEXO 5

O Anexo 5 corresponde aos slides da Aula 2, os quais podem ser acessados por meio do seguinte link:

[LINK DOS SLIDES](#)

Para fácil referência, tais slides também podem ser verificados adiante.

**MOVIMENTO CIRCULAR E UNIFORME**  
1º ANO

**GRAUS E RADIANOS**

Grau (°)	Radiano (rad)
180°	$\pi$ rad
360°	$2\pi$ rad

The right slide also features two circular diagrams: one showing angles in degrees (0° to 360°) and another showing angles in radians (0 to 2π).

**PENSANDO NO PLANETA TERRA**

Considerando que a bolinha vermelha é a Terra girando em torno do Sol, Como eu posso calcular a velocidade da Terra?

**VELOCIDADE ESCALAR (v)**

Se eu pegar a trajetória circular e esticar:

$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$

Para uma volta completa, quanto a Terra anda?  $\Delta S = 2\pi R$

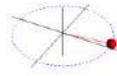
Qual é o intervalo de tempo de UMA volta?  $\Delta t = T$

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

Unidade de medida: v (m/s)

## VELOCIDADE ANGULAR $\omega$

Posso dizer que a Terra "anda" angularmente em torno do Sol?



Quanto ele anda angularmente em uma volta completa?

→ 360 graus ou  $2\pi$  rad.

Qual é o intervalo de tempo de UMA volta?

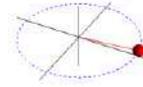
→  $\Delta t = T$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Unidade de medida  $\omega$  (rad/s)

## MOVIMENTO CIRCULAR E UNIFORME (MCU)

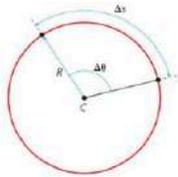
Dizemos que um corpo realiza MCU quando este realiza a trajetória circular com velocidade escalar constante ( $v$ ) ou velocidade angular constante ( $\omega$ ):



## VARIAÇÃO OU DESLOCAMENTO ANGULAR

O deslocamento angular nada mais é que "a quantidade de ângulo" percorrida pelo corpo em sua trajetória:

$\Delta\theta$  = variação angular (radianos)  
 $\theta$  = posição angular



## VELOCIDADE ANGULAR

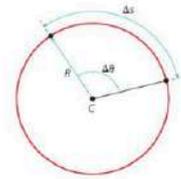
Além de :  $\omega = \frac{2\pi}{T}$

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Como o período  $T$  é o inverso da frequência:

$$\omega = 2\pi f$$

$$f = \frac{1}{T}$$



## VELOCIDADE ANGULAR E ESCALAR

Velocidade escalar ( $v$ )

Velocidade angular ( $\omega$ )

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

$$v = 2\pi R \cdot f$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \omega = 2\pi f$$

$$v = \omega \cdot R$$

FIM

# ANEXO 6

O Anexo 6 corresponde aos slides da Aula 3, os quais podem ser acessados por meio do seguinte link:

[LINK DOS SLIDES](#)

Para fácil referência, tais slides também podem ser verificados adiante.

**EXERCÍCIOS MCU**  
1º ANO

**VELOCIDADE ANGULAR E ESCALAR**

Velocidade escalar ( $v$ )      Velocidade angular ( $\omega$ )

$v = \frac{2\pi R}{T}$        $v = 2\pi R \cdot f$        $\omega = \frac{2\pi}{T}$        $\omega = 2\pi f$

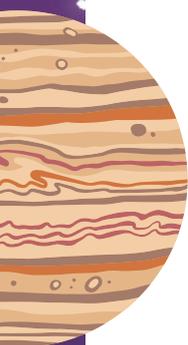
$v = \omega \cdot R$

**EXERCÍCIOS**

- Um ponto em movimento circular uniforme descreve 15 voltas por segundo em uma circunferência de 8 cm de raio. Determine:
  - a velocidade angular
  - o período
  - a velocidade linear
- Um corpo em MCU consegue realizar 480 voltas no tempo de 120 segundos em torno de uma circunferência de raio 0,5m. De acordo com essas informações, determine:
  - a frequência e o período
  - a velocidade angular e a escalar
- As rodas de uma bicicleta possuem raio igual a 0,5m e giram com velocidade angular igual a 5,0 rad/s. Qual distância percorrida, em metros, por essa bicicleta num intervalo e tempo de 10 segundos?

4) Uma roda d'água efetua 8 voltas em 25 segundos. Sabendo que o raio da roda d'água é de 0,5m e utilizando  $\pi = 3$ , determine a velocidade linear da roda em m/s.

FIM



# ANEXO 7

O Anexo 7 corresponde aos slides da Aula 4, os quais podem ser acessados por meio do seguinte link:

[LINK DOS SLIDES](#)

Para fácil referência, tais slides também podem ser verificados adiante.

TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO  
1º ANO

AULA PASSADA:  
VELOCIDADE ANGULAR E ESCALAR  
Velocidade escalar ( $v$ )      Velocidade angular ( $\omega$ )  
 $v = \frac{2\pi R}{f}$        $v = 2\pi R \cdot f$        $\omega = \frac{2\pi}{T}$        $\omega = 2\pi f$   
 $v = \omega \cdot R$

MOVIMENTO DO CÉU

VAMOS DISCUTIR

OBSERVAÇÃO DO CÉU

## PENSANDO NA TERRA



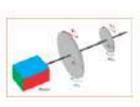
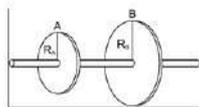
Todos os pontos da superfície da Terra possuem mesma velocidade angular e linear?

## O PLANETA TERRA E AS ESTRELAS

### SIMULADOR - MOVIMENTO APARENTE DO CÉU

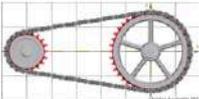
## TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO

### Mesmo Eixo



Mesma velocidade angular  $\omega$   
 $\omega_A = \omega_B$

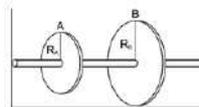
### Eixo diferente



Mesma velocidade escalar  $v$   
 $v_A = v_B$

## DESDOBRAMENTOS

### Mesmo Eixo

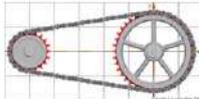


$$v = \omega \cdot R$$

$$\omega_A = \omega_B \quad \omega = \frac{v}{R}$$

$$\frac{v_A}{R_A} = \frac{v_B}{R_B}$$

### Eixo diferente



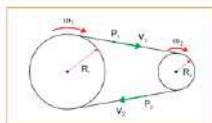
$$v_A = v_B \quad v = 2\pi \cdot f \cdot R$$

$$2\pi f_A R_A = 2\pi f_B R_B$$

$$f_A R_A = f_B R_B$$

## EXEMPLO 1

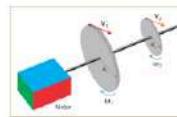
Duas polias, 1 e 2, são ligadas por uma correia. A polia 1 possui raio  $R_1 = 20$  cm, gira com frequência  $f_1 = 30$  rpm. A polia 2 possui raio  $R_2 = 15$  cm, gira com frequência  $f_2$ . Não há escorregamento da correia sobre as polias. Determine:



- a frequência  $f_2$ ;
- as velocidades lineares  $v_1$  e  $v_2$  dos pontos  $P_1$  e  $P_2$ .

## EXEMPLO 2

Duas polias, 1 e 2, giram ligadas ao eixo de um motor. A polia 1 possui raio  $R_1 = 20$  cm, gira com velocidade angular  $\omega_1 = 12$  rad/s. A polia 2 possui raio  $R_2 = 15$  cm. Determine:



- a frequência  $f_1$  da polia 1;
- a velocidade angular  $\omega_2$  e a frequência  $f_2$  da polia 2;
- as velocidades lineares  $v_1$  e  $v_2$  dos pontos  $P_1$  e  $P_2$ .

## ANEXO 8

O **Anexo 8** apresenta o **Roteiro 4**, que deve ser utilizado no âmbito da **Parte IV** da **Aula 4** e da **Parte II** da **Aula 6**. O referido roteiro pode ser visualizado por meio do link a seguir:

[LINK DO ROTEIRO](#)

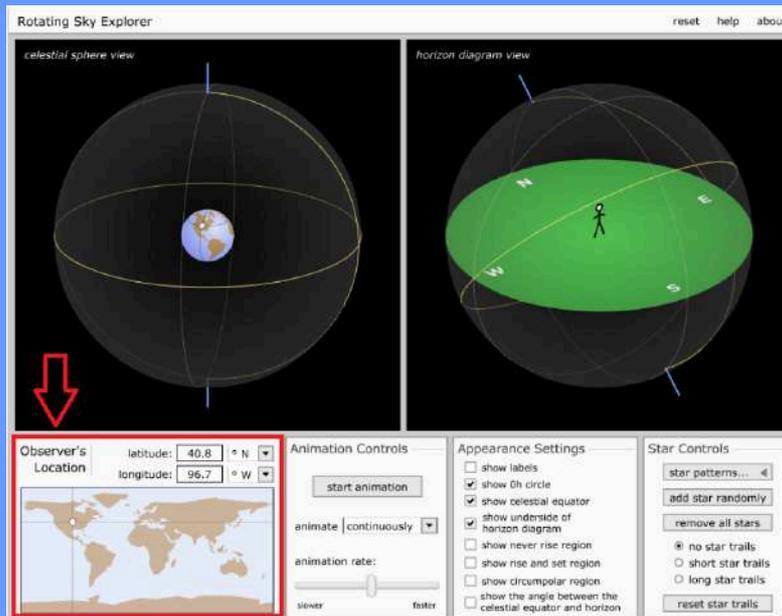
Ainda, as diretrizes do **Roteiro 4** estão disponíveis abaixo.

## ROTEIRO 4

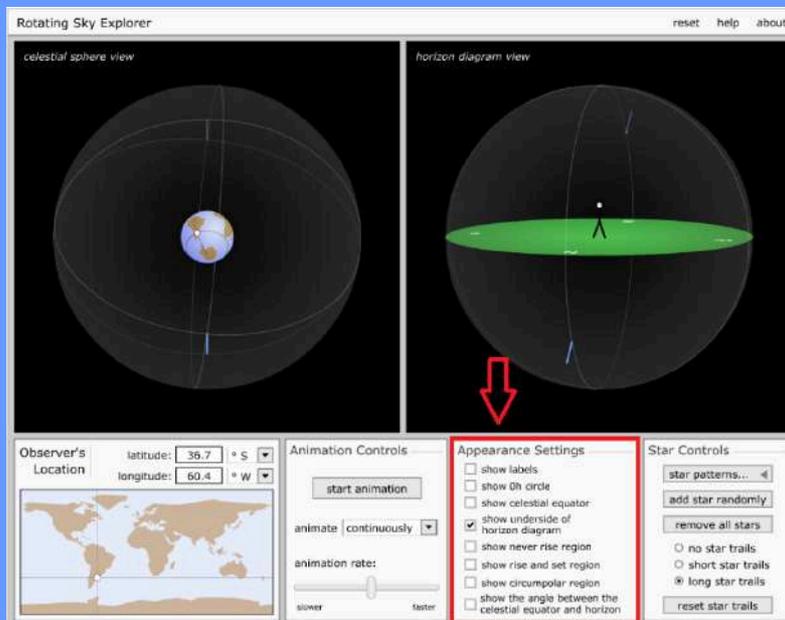
- 1 Acesse o simulador “Rotating Sky Explorer” por meio do link abaixo.

[LINK DO SIMULADOR](#)

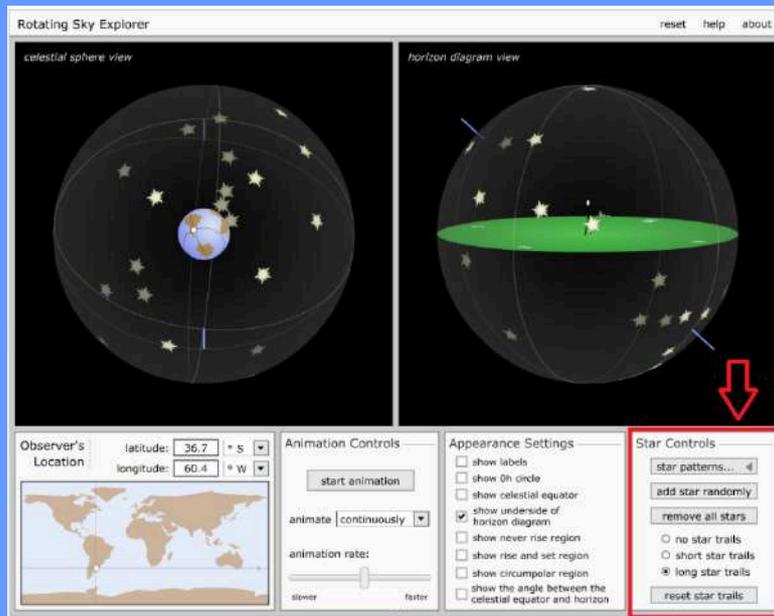
- 2 Mude a localização para latitude  $40.8^{\circ}\text{N}$  e  $96.7^{\circ}\text{W}$ , conforme sinalizado em vermelho na captura de tela apresentada a seguir.



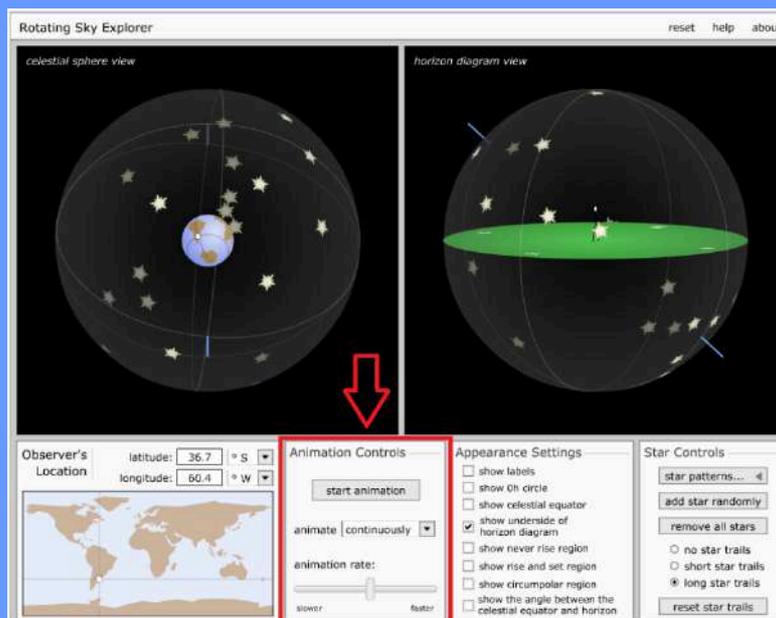
- 3 Configure a opção “Appearance Settings” do simulador, selecionado apenas a opção “show underside of horizon diagram”, conforme sinalizado em vermelho na captura de tela apresentada a seguir.



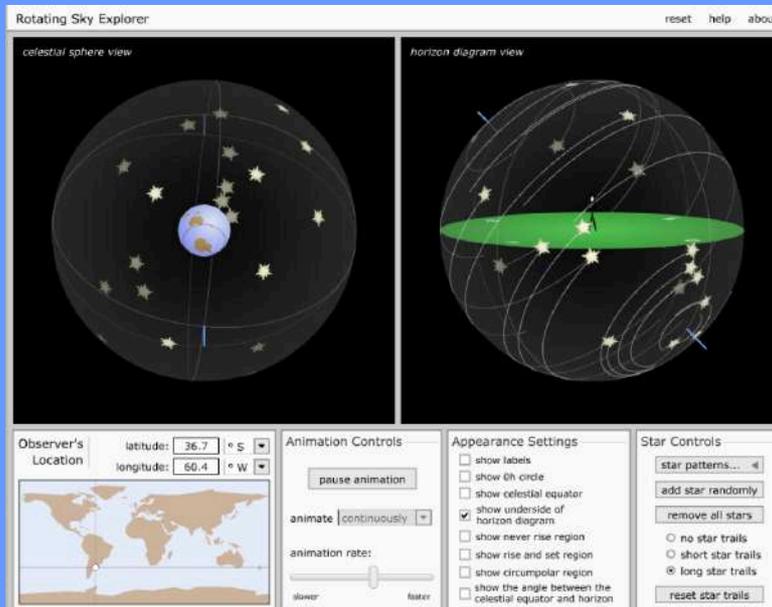
- 4 Em seguida, no menu “Star Controls”, selecione a opção “add star randomly” algumas vezes até que apareçam cerca de 5 ou 6 estrelas em torno de um dos polos, bem como a opção “long star trails”, conforme sinalizado em vermelho na captura de tela apresentada a seguir.



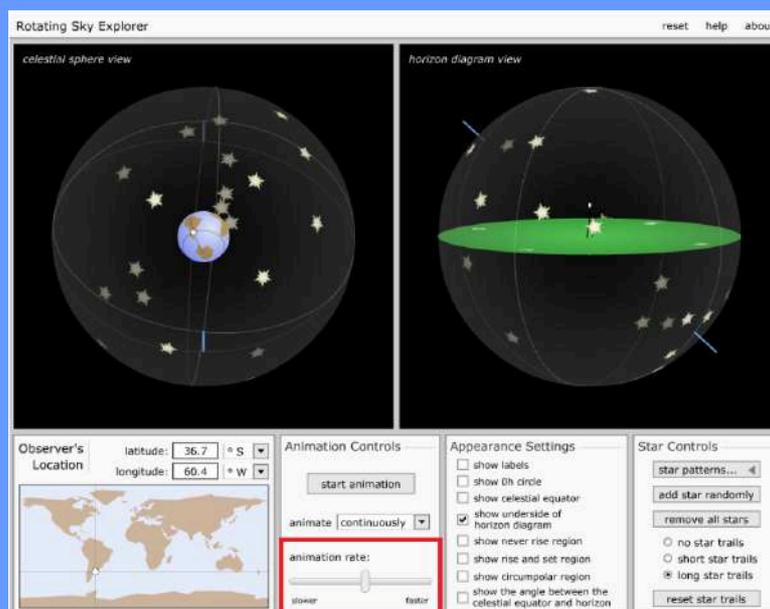
- 5 Coloque o simulador para funcionar na opção “Animation Controls” e selecione o botão “start animation”, conforme sinalizado em vermelho na captura de tela apresentada a seguir.



- 6 Na sequência, o simulador mostrará as trajetórias das estrelas com uma linha contínua, assim como é possível observar na captura de tela abaixo.



- 7 A posição de visualização das trajetórias das estrelas pode ser controlada ao arrastar o cursor do mouse em cima do globo que aparece no lado direito da tela. Também, é possível aumentar ou diminuir a velocidade do movimento com auxílio da função “animation rate” da opção “Animation Controls”, conforme sinalizado em vermelho na captura de tela apresentada a seguir.



## ANEXO 9

O Anexo 9 corresponde ao material de apoio a ser utilizado durante a Aula 5, o qual está disponível no seguinte link:

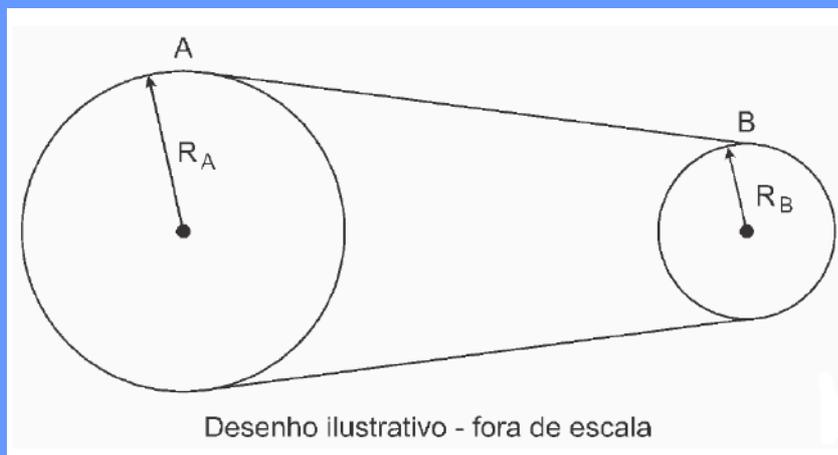
[LINK DO MATERIAL DE APOIO](#)

Ainda, os exercícios a serem aplicados no âmbito da Aula 5 estão disponíveis abaixo.

### ATIVIDADE 1

1 Duas polias, “A” e “B”, ligadas por uma correia inextensível têm raios  $R_A = 60$  cm e  $R_B = 20$  cm, conforme o desenho abaixo. Admitindo que não haja escorregamento da correia e sabendo que a frequência da polia “A” é  $f_A = 30$  rpm, então a frequência da polia “B” é:

- a) 10 rpm
- b) 20 rpm
- c) 80 rpm
- d) 90 rpm
- e) 120 rpm



### GABARITO

A resposta correta para a Questão 1 está na letra “D”, sendo que, para a situação dada, tem-se que:

$$v_A = v_B$$

$$2\pi f_A R_A = 2\pi f_B R_B$$

$$30 \cdot 60 = f \cdot 20$$

$$f_B = 90 \text{ rpm}$$

2 Considere um carrossel que gira com velocidade angular tal qual cada cavalo percorre duas voltas completas em  $4\pi/3$  segundos. Assim, a velocidade angular do carrossel, em radianos/s, é:

- a)  $4/3$
- b)  $4\pi/3$
- c)  $2\pi/3$
- d)  $3$

### GABARITO

A resposta correta para a Questão 2 está na letra “D”, uma vez que:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 2\pi \text{ rad}}{4\pi/3 \text{ s}}$$

$$\omega = 3 \text{ rad/s}$$

3 A figura abaixo representa um satélite geoestacionário em movimento circular e uniforme a uma distância “d” da superfície da Terra. A trajetória desse satélite está contida no plano equatorial terrestre e seu período de translação é igual ao de rotação da Terra, cerca de 24h. Considerando que o raio equatorial da Terra mede “R” e adotando  $\pi = 3$ , a velocidade orbital desse satélite é de

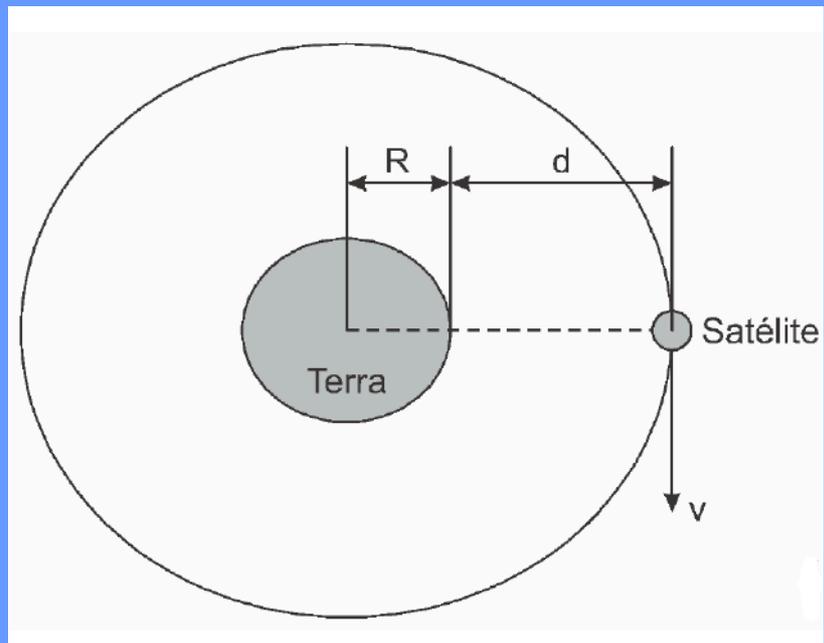
a)  $\frac{3(R + d)}{4}$

b)  $\frac{(R + d)}{4}$

c)  $\frac{2(R + d)}{3}$

d)  $\frac{(R + d)}{12}$

e)  $\frac{(R + d)}{8}$



### GABARITO

A resposta correta para a Questão 3 está na letra “B”, tendo em vista que a velocidade em função do período no MCU é dada por:

$$v = \frac{2\pi(R + d)}{T}$$

Como no enunciado não foi observada a unidade para a resposta, seria oportuno para o candidato pensar em deixar a resposta no Sistema Internacional de Unidades (SI), assim, a resposta obtida seria:

$$v = \frac{2\pi(R + d)}{T} = \frac{2 \cdot 3 \cdot (R + d)}{24h \cdot 3.600 \text{ s/1h}}$$

$$v = \frac{(R + d)}{14.400} \text{ m/s}$$

Como não existe essa resposta, a banca deveria repensar essa questão, sendo mais objetiva e concisa em seus enunciados, evitando situações com perdas de tempo para os candidatos. Bastaria agregar à questão a unidade km/h para a distância considerada em km e o tempo em h.

Com essa observação, teria-se:

$$v = \frac{2\pi(R + d)}{T} = \frac{2 \cdot 3 \cdot (R + d)}{24h}$$

$$v = \frac{(R + d)}{4} \text{ km/h (com "R" e "d" em km)}$$

Combinando, assim, com a alternativa "B", mas o ideal, para que a questão fique correta, seria indicar no enunciado que a velocidade seria em km/h, sendo "R + d" dado em km.

4 Um ponto material descreve um movimento circular uniforme com o módulo da velocidade angular igual a 10 rad/s. Após 100 segundos, o número de voltas completas percorridas por esse ponto material é (Adote “ $\pi = 3$ ”):

- a) 150
- b) 166
- c) 300
- d) 333

### GABARITO

A resposta correta para a Questão 4 está na letra “B”, tendo em vista que:

$$\omega = 2\pi f$$

$$10 = 2 \cdot 3 \cdot f$$

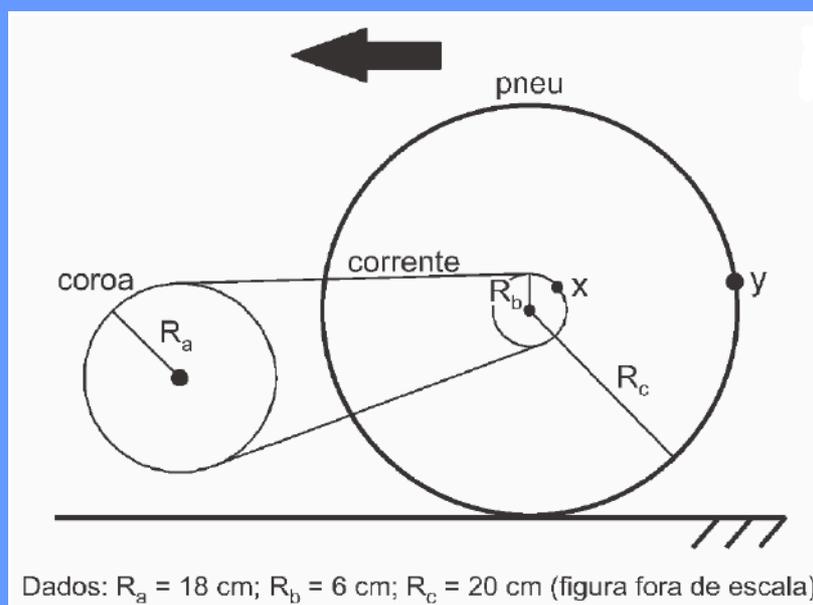
$$f = 3/5 \text{ Hz}$$

Como o ponto material completa 3/5 voltas a cada segundo, após 100 segundos ele terá dado:

$$N = 5/3 \cdot 100$$

$$N \cong 166 \text{ voltas}$$

5 Assuma que as dimensões das engrenagens e do pneu de uma bicicleta sejam as indicadas na figura a seguir. Responda as seguintes questões: **a)** Considerando-se os pontos e indicados na figura, qual deles terá menor velocidade linear? Explique sua resposta. **b)** Pedalando em uma bicicleta com as dimensões descritas, um ciclista foi instruído de que, para vencer uma corrida, deve se manter à velocidade constante de 65 km/h durante toda a prova. Qual o número de pedaladas por segundo que ele deve dar para manter a velocidade indicada?



### GABARITO

Quanto à resposta correta para a Questão 5(a), os pontos “x” e “y” encontram-se sobre discos que giram com a mesma velocidade angular por terem o mesmo eixo de rotação. Sendo assim:

$$\omega_b = \omega_c \Rightarrow \frac{v_b}{R_b} = \frac{v_c}{R_c}$$

Como  $R_c > R_b \Rightarrow v_c > v_b$ , portanto, “y” terá maior velocidade linear.

Já em relação à resposta correta para a Questão 5(b), da relação exemplificada na resposta da Questão 5(a), advém que:

$$\frac{v_b}{R_b} = \frac{v_c}{R_c} \Rightarrow \frac{v_b}{6} = \frac{65/3,6}{20}$$

$$v_b = v_a \cong 5,42 \text{ m/s}$$

$$v_a = 2\pi f_a R_a \Rightarrow 5,42 = 2 \cdot 3,14 \cdot f_a \cdot 0,18$$

$$f_a \cong 4,8 \text{ Hz}$$

# ANEXO 10

O Anexo 10 consiste nos slides da Aula 6, os quais podem ser acessados abaixo:

[LINK DOS SLIDES](#)

Para fácil referência, tais slides também podem ser verificados adiante.



Slide 1: EXPERIMENTO - FOTOGRAFANDO ESTRELAS  
1º ANO



Slide 2: COMO CALCULAR A VELOCIDADE ANGULAR DA TERRA?  
SIMULADOR - MOVIMENTO APARENTE DO CÉU



Slide 3: STELLARIUM  
[Clique aqui para baixar o Stellarium](#)



Slide 4: ATIVIDADE - FOTOGRAFANDO ESTRELAS  
Esta atividade tem como objetivo calcular a velocidade angular da Terra e a velocidade escalar em um ponto da superfície próxima à linha do equador em função do movimento aparente das estrelas no céu noturno.

## COMO CALCULAR A VELOCIDADE ANGULAR E ESCALAR?

Para calcular a velocidade angular temos:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Para calcular a velocidade escalar temos:

$$v = \omega \cdot R$$



## A EXPERIÊNCIA – COLETA DE DADOS

1º A e 1B

Stellarium

Através de um roteiro de experimento com o uso do Stellarium observar dois instantes diferentes da estrela em torno do polo sul celeste para calcular sua velocidade angular.

1º C

Foto de longa exposição das estrelas no céu de ITU

Através de um roteiro de experimento utilizando os rastros das estrelas no céu.

- Roteiros disponíveis no Google Class no tópico “Fotografando Estrelas”

## FORMATOS DE ENTREGA

- A entrega será feita pelo formulário google forms presente no class em “atividades para entrega”.

Tabla 1 - Intervalo de tempo

Foto	Instante de tempo
1	
2	

Tabla 2 - Dados do experimento

Grandeza	Símbolo	Unidad
Intervalo de tiempo	$\Delta t$ (s)	
Variação de posição angular	$\Delta\theta$ (graus)	
Variação de posição angular	$\Delta\theta$ (radianos)	
Velocidade angular	$\omega$ (graus/s)	
Velocidade angular	$\omega$ (rad/s)	
Velocidade escalar	$v$ (m/s)	

- Esse trabalho terá duração de duas semanas.

FIM

## ANEXO 11

O **Anexo 11** contém a fotografia do céu em longa exposição a ser utilizada no experimento “Fotografando Estrelas”, exibida aos alunos na **Parte I da Aula 6**, a qual está disponível no link abaixo:

[LINK DA FOTO](#)

Ainda, a referida fotografia também está disponível abaixo, a qual foi realizada pela própria autora.



## ANEXO 12

O **Anexo 12** contém o **Roteiro 5**, que deve ser utilizado no âmbito do experimento “Fotografando Estrelas – Parte 1”, mais especificamente na **Parte III** e na **Parte VI** da **Aula 6**. Tal roteiro está disponível no link a seguir:



[LINK DO ROTEIRO](#)

Ainda, as diretrizes do **Roteiro 5** estão disponíveis abaixo.

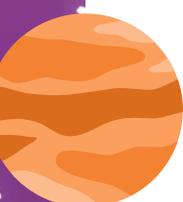
## ROTEIRO 5

- 1 Para calcular a velocidade angular da Terra a partir do movimento aparente das estrelas será necessário instalar o simulador “Stellarium” por meio do link a seguir, devendo-se escolher a versão apropriada para o computador em uso. Ressalta-se que a versão web não conta com as mesmas funções que o software, portanto, é realmente preciso baixar o simulador no computador para realizar o experimento.



[LINK DO SIMULADOR](#)

- 2 Na parte inferior esquerda da tela, há um menu de ferramentas no qual é possível desabilitar a atmosfera ao clicar na opção cujo símbolo corresponde a uma nuvem com um estrela. Para isso, tal símbolo precisa estar “apagado”, o que significa que a função estará desabilitada.



3 Ainda no menu de ferramentas presente na parte inferior esquerda da tela, selecione a grade equatorial, representada pelo símbolo de um globo com linhas de grade dentro de um quadrado, sendo que tal símbolo precisa estar “aceso”, o que significa que a função estará habilitada. Desse modo, será possível ver o céu da forma adequada para a realização do experimento, sendo que, ao clicar em cima de qualquer astro, o simulador “Stellarium” mostrará todas as informações sobre ele na parte superior esquerda da tela. O ponto central da foto (em azul) corresponde ao polo sul celeste (se o usuário estiver localizado no hemisfério sul) ou ao polo norte celeste (se o usuário estiver localizado no hemisfério norte).

4 Para mudar a localização, selecione a primeira opção (símbolo correspondente a uma rosa dos ventos) do menu de ferramentas presente na parte esquerda da tela do simulador (lembrando que, para que a opção esteja habilitada, é necessário que o símbolo esteja “aceso”). Ao clicar na primeira opção, uma janela no centro da tela será aberta, possibilitando a seleção da localização desejada diretamente no mapa que se encontra à esquerda da janela ou no menu à direita, que apresente locais específicos. Depois de selecionar o local desejado, a localização observada será aquela escolhida, sendo importante escolher um local onde os polos celestes fiquem visíveis na tela. Se encontrar muita dificuldade para utilizar o simulador, recomenda-se o acesso do tutorial a seguir, que explica como mudar a localização, a data e a hora.

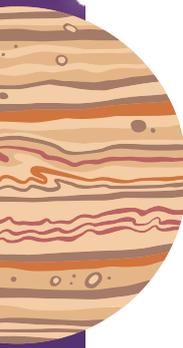


[LINK DO TUTORIAL](#)



5 Escolha uma estrela qualquer que esteja na sua tela e clique em cima dela para que ela fique selecionada.



- 
- 
- 
- 
- 6 Realize uma captura da tela e garanta que a imagem tenha a estrela selecionada, o polo sul celeste e a indicação do instante em que a tela foi capturada.
  - 7 Salve a captura de tela no computador abrindo os programas “Paint”, “Word” ou “PowerPoint” e apertando “CTRL” e “V” (nesta ordem e em conjunto).
  - 8 Acelere o tempo para realizar uma nova captura de tela referente à mesma estrela, mas agora em outro instante. Para acelerar o tempo, clique duas vezes na função presente no menu inferior da tela cujo símbolo corresponde a duas setas apontadas para a direita. Dessa forma, o tempo acelerará, sendo que a tela girará lentamente, momento em que outra captura de tela deverá ser realizada, nas mesmas condições da primeira, isto é, a captura de tela deverá conter a mesma estrela selecionada, o polo sul celeste e a indicação do instante em que a tela foi capturada.
  - 9 Salve a segunda tela capturada no mesmo local em que salvou a primeira a fim de facilitar o acesso a tais imagens.
  - 10 Caso encontre grande dificuldade para realizar os procedimentos mencionados anteriormente, acesse o tutorial disponível no link abaixo.

[LINK DO TUTORIAL](#)

## ANEXO 13

O **Anexo 13** contém o **Roteiro 6**, que deve ser utilizado no âmbito do experimento “Fotografando Estrelas – Parte 1”, mais especificamente na **Parte IV** e na **Parte VI** da **Aula 6** e **Parte I** da **Aula 8**. Tal roteiro está disponível no link a seguir:

[LINK DO ROTEIRO](#)

Ainda, as diretrizes do **Roteiro 6** estão disponíveis abaixo.

## ROTEIRO 6

- 1 Este roteiro está direcionado para a análise de dados, sendo que, em posse dos dois momentos da estrela com um intervalo de tempo específico, deve-se retirar dados dessas imagens para que seja possível investigar o MCU da estrela. Para calcular a velocidade angular desse MCU, tem-se que:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Ou seja, para calcular a velocidade angular da estrela (radianos por segundo), é necessário saber a variação da posição angular (radianos) e o intervalo de tempo (segundos) em que tal variação aconteceu.

- 2 Deve-se iniciar com o intervalo de tempo “ $\Delta t$ ” com relação às duas telas capturadas, prosseguindo com a anotação na seguinte tabela dos instantes de tempo em que as capturas de tela relativas à observação das estrelas, conforme o exemplo abaixo:

Nº da Tela Capturada	Instante de Tempo
1	17:00:03
2	20:50:43

- 3 Em seguida, precisa-se calcular a diferença entre esses instantes, para isso, é importante lembrar que as medidas indicadas no exemplo acima são: (i) 17 = horas; (ii) 00 = minutos; (iii) 03 = segundos; (iv) 20 = horas; (v) 50 = minutos; e (vi) 43 = segundos.

Para o exemplo acima, a diferença entre os intervalos de tempo seria:  $\Delta t = 03$  horas, 50 minutos e 40 segundos.

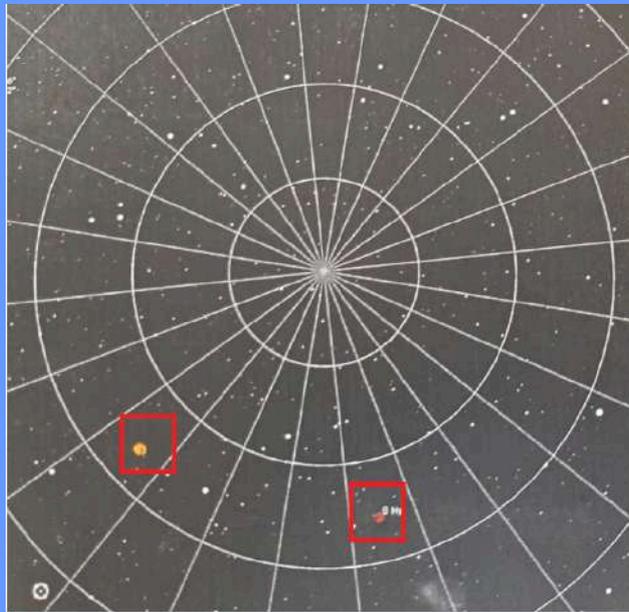
Na sequência, faz-se necessário transformar esse intervalo de tempo em segundos, transformando tanto as 03 horas quanto os 50 minutos em segundos, conforme segue: (i) 03 horas =  $3 \times 3600 = 10800$  segundos; e (ii) 50 minutos = 3000 segundos.

Agora, pode-se somar tudo em segundos para obter o intervalo de tempo total em segundos, a saber:  $10800 + 3000 + 40 = 13840$  segundos.

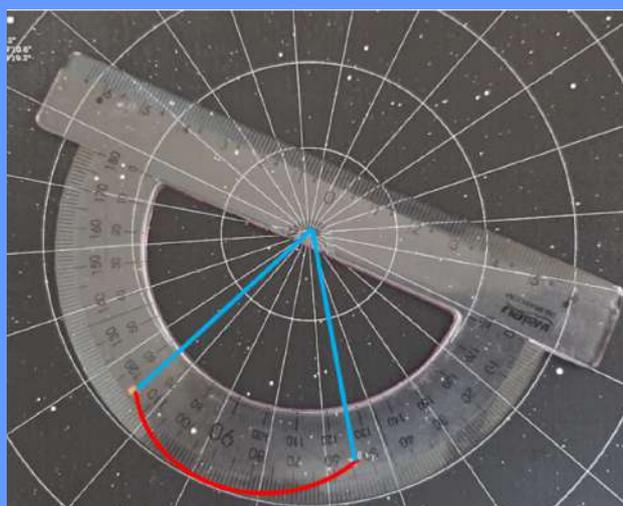
- 4 Para que seja possível definir a variação da posição angular, tem-se dois métodos, quais sejam: (i) impressão de capturas de tela; e (ii) uso do software “GeoGebra”. Pode-se escolher aplicar apenas um dos métodos ou ambos.

## MÉTODO I

- 5 Para aplicar o primeiro método, será necessário o uso de impressora, folhas sulfite e transferidor. O primeiro passo para este método consiste na impressão dos duas capturas de tela realizadas, sobreposição das fotos e marcação com uma canetinha das posições da estrela, de forma que as duas marcações fiquem na mesma foto, conforme sinalizado em vermelho no exemplo a seguir:



Com as duas posições da estrela nos instantes em que as capturas de tela foram realizadas, é possível verificar na mesma foto a variação da posição angular com ajuda de um transferidor. Com uma régua e uma canetinha, deve-se traçar duas retas ligando o polo sul celeste com as estrelas (conforme sinalizado pelas linhas Azuis no exemplo a seguir). Depois, o centro do transferidor deve ser posicionado no polo sul celeste, assim como demonstrado no exemplo a seguir:



Assim, a variação angular “ $\Delta\theta$ ” será verificada em graus do seu movimento. Vale lembrar que a medida da variação da posição angular precisa estar em radianos, portanto, deve-se realizar a conversão da seguinte forma:

180°

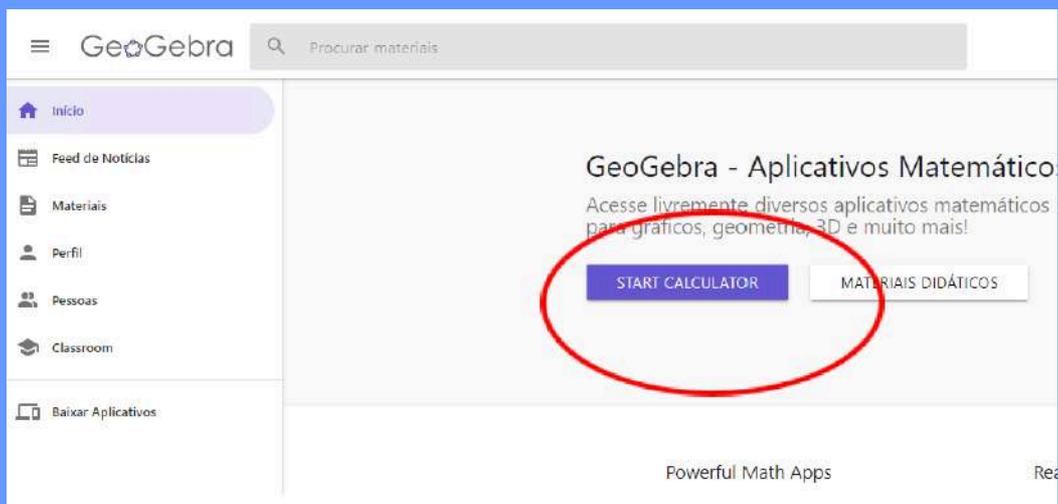
$\pi$  radianos

## MÉTODO II

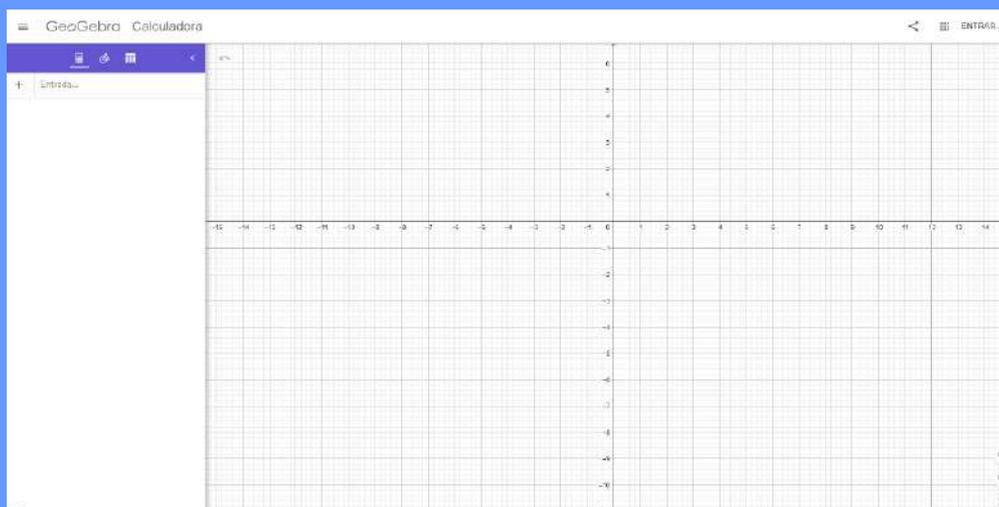
- 6 Para utilizar o segundo método, deve-se acessar o site do software “Geogebra” por meio do seguinte link:

[LINK DO SOFTWARE](#)

Na página inicial do referido software, será necessário clicar no botão “Start Calculator”, consoante à demonstração da imagem a seguir.



Em seguida, a tela abaixo será aberta:



Recomenda-se a visualização de um tutorial gravado referente ao cálculo da variação da posição angular pelo software “Geogebra”, o qual pode ser acessado pelo seguinte link:

[LINK DO TUTORIAL](#)

- 7 Tendo as medidas “ $\Delta\theta$ ” em radianos e “ $\Delta t$ ” em segundos, pode-se calcular a velocidade angular por meio da seguinte fórmula:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

A velocidade angular da estrela calculada é, em verdade, a velocidade angular da Terra e, portanto, a partir dela é viável calcular a velocidade escalar/linear para um ponto da superfície da Terra na Linha do Equador com auxílio da seguinte fórmula:

$$V = \omega \cdot R$$

Sendo “R” o raio da Terra (6.371.000 metros), a velocidade escalar da Terra para um ponto na Linha do Equador será obtida.

- 8 Em posse de todos esses dados calculados, deve-se realizar o preenchimento da tabela a seguir, de forma a organizar os dados obtidos:

Grandeza	Símbolo	Valor
Intervalo de tempo	$\Delta t$ (s)	
Varição da posição angular	$\Delta\theta$ (graus)	
Varição da posição angular	$\Delta\theta$ (radianos)	
Velocidade angular	$\omega$ (rad/s)	
Velocidade escalar	v (m/s)	
Velocidade escalar	v (km/h)	

- 9 O valor de referência para as velocidades angular e escalar da Terra são respectivamente: (i)  $\omega = 7,29 \times 10^5$  rad/s ou 0,0000729 rad/s; e (ii)  $v = 465$  m/s ou 1675 km/h. Os resultados obtidos devem ser comparados com esses valores de referência, devendo-se preencher a seguinte tabela com os dados experimentais calculados e os dados teóricos fornecidos acima:

Grandeza	Experimental	Teórico
Velocidade angular $\omega$ (rad/s)		$7,29 \times 10^5$
Velocidade escalar $v$ (m/s)		465

- 10 Com a finalização do experimento, o aluno deve acessar o “Google Classroom” e realizar a atividade para entrega por meio de um formulário on-line do “Google Forms”, ou presencialmente, conforme a escolha do professor. Para responder o referido formulário, é necessário utilizar as tabelas preenchidas no âmbito dos passos “2” e “8” deste **Roteiro 6** e anexá-las em tal formulário.

## ANEXO 14

O **Anexo 14** corresponde à atividade a ser aplicada no âmbito do experimento “Fotografando Estrelas – Parte 1” conduzido na **Parte VII** da **Aula 6**, a qual pode ser acessada por meio do seguinte link:

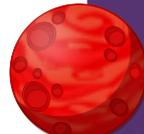
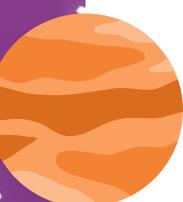
[LINK DA ATIVIDADE](#)

Ainda, as instruções da atividade a ser aplicada no âmbito da **Aula 6** estão disponíveis abaixo.

## ATIVIDADE 2

- 1 Assinale abaixo qual dos métodos foi utilizado:  
 Método 1: impressão das capturas de tela e utilização do transferidor.  
 Método 2: utilização do software “Geogebra”.  
 Métodos 1 e 2.
- 2 Preencha as tabelas abaixo de acordo com o experimento realizado e com o método escolhido. Observação: se o experimento foi realizado a partir da aplicação de apenas um dos métodos, preencha as tabelas somente uma vez de acordo com o método utilizado.

Nº da Tela Capturada	Instante de Tempo
1	
2	



Grandeza	Símbolo	Valor
Intervalo de tempo	$\Delta t$ (s)	
Varição da posição angular	$\Delta\theta$ (graus)	
Varição da posição angular	$\Delta\theta$ (radianos)	
Velocidade angular	$\omega$ (rad/s)	
Velocidade escalar	$v$ (m/s)	
Velocidade escalar	$v$ (km/h)	



# ANEXO 15

O Anexo 15 consiste nos slides da Aula 7, os quais podem ser acessados a partir do link a seguir:

[LINK DOS SLIDES](#)

Para fácil referência, tais slides também podem ser verificados adiante.



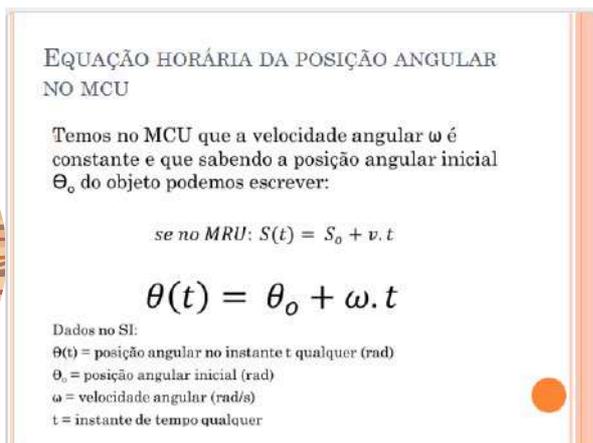
**EQUAÇÃO HORÁRIA DA POSIÇÃO DO MCU**  
1º ANO

**EQUAÇÃO HORÁRIA DA POSIÇÃO NO MRU**

Lembrando do movimento retilíneo e uniforme, onde a velocidade é constante, temos que a equação horária da posição é:

$$S(t) = S_0 + v \cdot t$$

Dados no SI:  
S(t) = posição no instante t qualquer  
S<sub>0</sub> = posição inicial  
v = velocidade constante  
t = instante de tempo



**EQUAÇÃO HORÁRIA DA POSIÇÃO ANGULAR NO MCU**

Temos no MCU que a velocidade angular  $\omega$  é constante e que sabendo a posição angular inicial  $\theta_0$  do objeto podemos escrever:

se no MRU:  $S(t) = S_0 + v \cdot t$

$$\theta(t) = \theta_0 + \omega \cdot t$$

Dados no SI:  
 $\theta(t)$  = posição angular no instante t qualquer (rad)  
 $\theta_0$  = posição angular inicial (rad)  
 $\omega$  = velocidade angular (rad/s)  
t = instante de tempo qualquer

**DEDUÇÃO**

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$
$$\omega = \frac{\theta - \theta_0}{t - t_0}$$
$$\omega \cdot (t - t_0) = \theta - \theta_0$$
$$\omega \cdot t = \theta - \theta_0$$
$$\omega \cdot t + \theta_0 = \theta$$

### EXEMPLO

Um corpo descreve MCU com velocidade angular igual a  $\frac{3\pi}{2}$  rad/s e parte da posição inicial igual a  $\frac{\pi}{2}$  rad. Qual a posição angular para o instante igual a 3 segundos.

$$\theta(t) = \theta_0 + \omega \cdot t$$

$$\theta(t) = \frac{\pi}{2} + \frac{3\pi}{2} \cdot 3$$

$$\theta(t) = \frac{\pi}{2} + \frac{9\pi}{2}$$

$$\theta(t) = \frac{10\pi}{2} = 5\pi \text{ rad}$$

### EXERCÍCIO

Uma bolinha realiza trajetória circular em MCU e parte da posição angular igual a  $\frac{\pi}{2}$  rad.

Considerando que após 2 segundos ela se encontra na posição  $\frac{3\pi}{2}$  rad, determine:

- A equação horária da posição angular
- Qual é a posição angular no instante igual a 20 segundos.

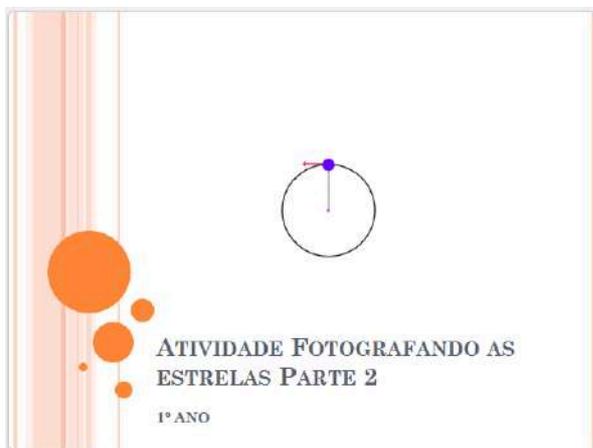
FIM

# ANEXO 16

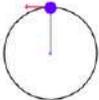
O Anexo 16 corresponde aos slides da Aula 8, os quais estão disponíveis no seguinte link:

[LINK DOS SLIDES](#)

Para fácil referência, tais slides também podem ser verificados adiante.

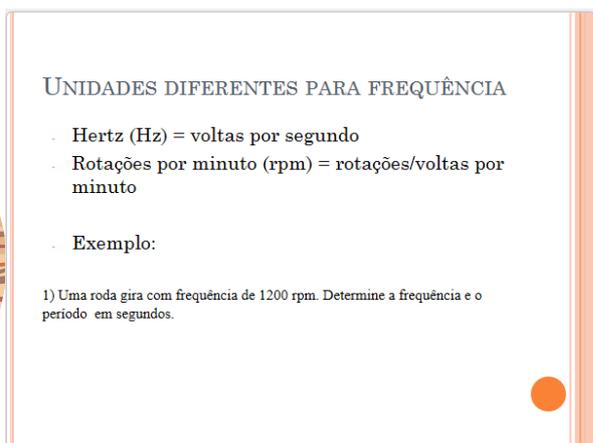


Slide 1: ATIVIDADE FOTOGRAFANDO AS ESTRELAS PARTE 2  
1º ANO



Slide 2: DISCUSSÕES SOBRE A ATIVIDADE PARTE 1  
Dificuldades?!

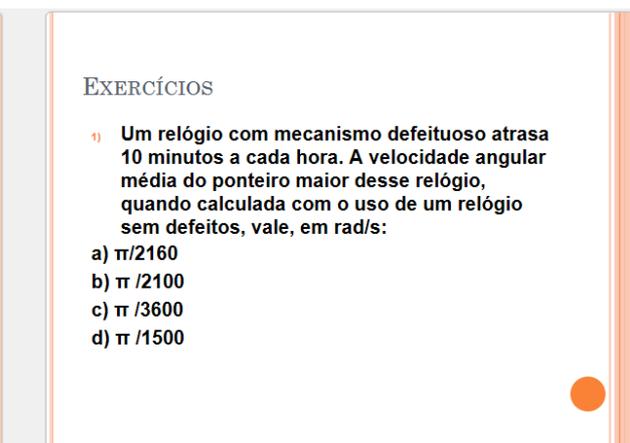
Slide 3: APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA PARTE 2



Slide 4: UNIDADES DIFERENTES PARA FREQUÊNCIA

- Hertz (Hz) = voltas por segundo
- Rotações por minuto (rpm) = rotações/voltas por minuto
- Exemplo:

1) Uma roda gira com frequência de 1200 rpm. Determine a frequência e o período em segundos.



Slide 5: EXERCÍCIOS

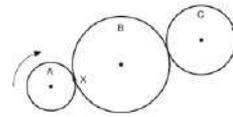
1) Um relógio com mecanismo defeituoso atrasa 10 minutos a cada hora. A velocidade angular média do ponteiro maior desse relógio, quando calculada com o uso de um relógio sem defeitos, vale, em rad/s:

- a)  $\pi/2160$
- b)  $\pi/2100$
- c)  $\pi/3600$
- d)  $\pi/1500$

2) (UFPE) – As rodas de uma bicicleta possuem raio igual a 0,50m e giram com velocidade angular constante de módulo igual a 5,0 rad/s. Qual a distância percorrida, em metros, por esta bicicleta num intervalo de 10 segundos?

3) Na figura, temos um sistema formado por três polias, A, B e C, de raios respectivamente iguais a  $R_A = 10\text{cm}$ ,  $R_B = 20\text{cm}$  e  $R_C = 15\text{cm}$ , que giram conjuntamente, encostadas uma na outra e sem que haja escorregamento entre elas.

A polia A é a polia motriz que comanda as demais e gira no sentido horário com rotação uniforme e frequência de 30 rpm.



Seja X o ponto de contato entre as polias A e B e Y um ponto da periferia da polia C.

Determine, adotando-se  $\pi = 3$ :

- os módulos das velocidades lineares dos pontos X e Y;
- o sentido de rotação e a frequência de rotação da polia B;
- o sentido de rotação e o período de rotação da polia C.

FIM

## ANEXO 17

O **Anexo 17** apresenta o **Roteiro 7**, que deve ser utilizado no âmbito do experimento “Fotografando Estrelas – Parte 2”, mais especificamente na **Parte II** da **Aula 8**. Tal roteiro está disponível no link a seguir:

[LINK DO ROTEIRO](#)

Ainda, as diretrizes do **Roteiro 7** estão disponíveis abaixo.

## ROTEIRO 7

- 1 Nesta atividade, a velocidade angular da Terra será calculada por meio do movimento aparente das estrelas com apoio de da fotografia do céu em longa exposição exposta a seguir, a qual foi realizada na cidade de Itu, São Paulo, em 13 de março de 2020.



A câmera utilizada para realizar a fotografia foi a Canon – EOS – Rebel T6i, lente 18-55, sendo que o tempo de exposição foi de 1043,2 segundos.

- 2 Como é possível observar na fotografia, verifica-se o rastro das estrelas em torno do polo sul celeste, que não está visível na fotografia (está encoberto pelas árvores). Para calcular a velocidade angular “ $\omega$ ” dessas estrelas no rastro, é preciso ter os dados de variação da posição angular “ $\Delta\theta$ ” e o intervalo de tempo “ $\Delta t$ ” em que o rastro foi registrado a partir da seguinte fórmula:

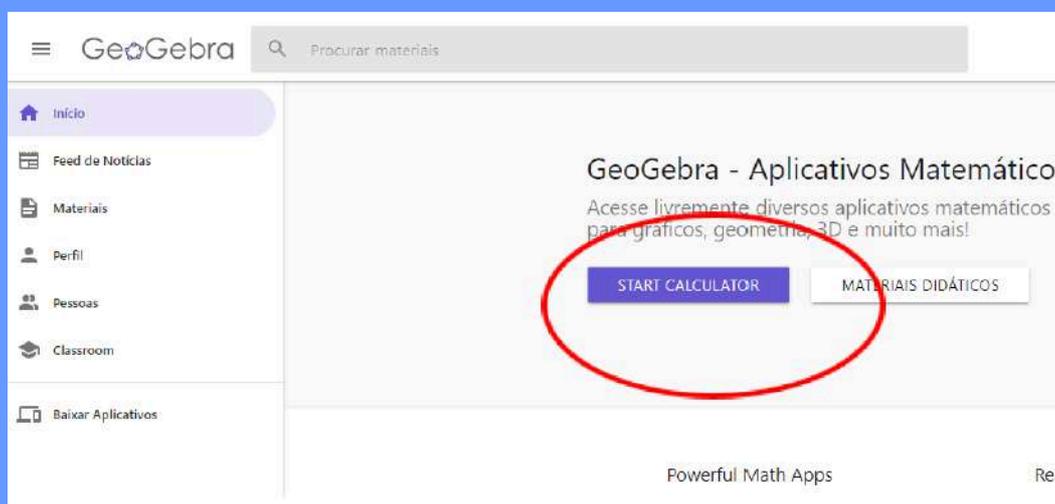
$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Ou seja, para calcular a velocidade angular da estrela (radianos por segundo), precisa-se da variação da posição angular (radianos) e o intervalo de tempo (segundos) em que essa variação aconteceu. Ressalta-se que o intervalo de tempo em que o rastro aconteceu é o próprio tempo de exposição da foto, logo,  $\Delta t = 1043,2s$ .

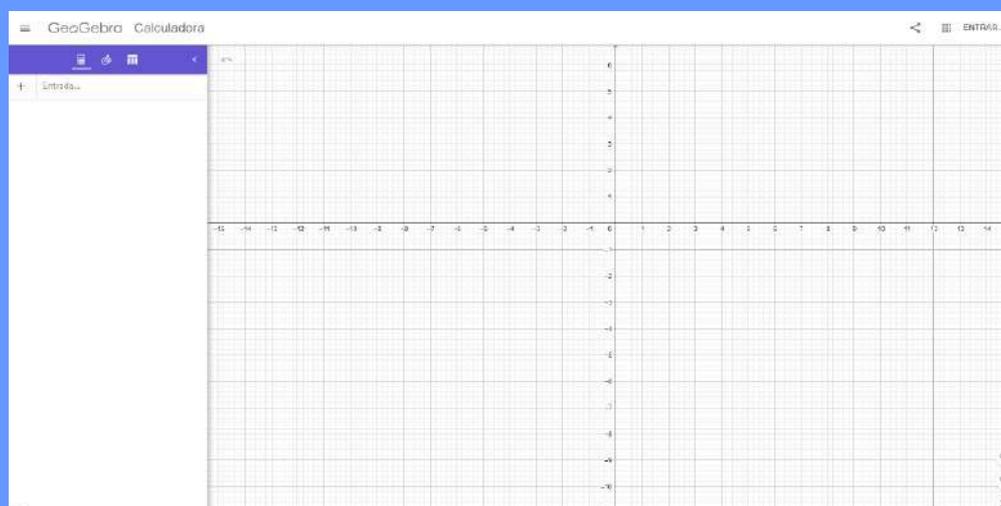
- 3 Para encontrar a variação da posição angular a partir do rastro das estrelas em torno do polo sul celeste, é necessário utilizar o software “Geogebra”. Nesse sentido, deve-se salvar a fotografia em longa exposição na área de trabalho do computador e, em seguida, o referido software deve ser acessado por meio do seguinte link:

[LINK DO SOFTWARE](#)

Na página inicial do referido software, será necessário clicar no botão “Start Calculator”, consoante à demonstração da imagem a seguir.



Em seguida, a tela abaixo será aberta:



Recomenda-se a visualização de um tutorial gravado referente ao cálculo da variação da posição angular pelo software “Geogebra”, o qual pode ser acessado pelo seguinte link:

[LINK DO TUTORIAL](#)

- 4 Em seguida, a medição de pelo menos 2 rastros deve ser realizada, sendo importante frisar que quanto mais rastros forem feitos, mais preciso serão as medidas apuradas. Os dados obtidos devem ser organizados na tabela abaixo.

Nº do rastro	1	2	3	4
$\Delta\theta$ (graus)				
$\Delta\theta$ (radianos)				

Vale lembrar que os valores retirados do software “Geogebra” estão em unidade de graus, porém, a medida da variação da posição angular “ $\Delta\theta$ ” precisa estar em radianos, portanto, a conversão deve ser conduzida considerando o seguinte:

180°	$\pi$ radianos
------	----------------

- 5 Com esses dados, é possível calcular a velocidade angular por intermédio da fórmula a seguir:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Deve-se realizar tal cálculo para cada rastro e preencher a mesma tabela do passo “4” deste **Roteiro 7**, mas agora considerando o seguinte dado:

Nº do rastro	1	2	3	4
$\omega$ (rad/s)				

- 6 A velocidade angular da estrela calculada é, em verdade, a velocidade angular da Terra e, portanto, a partir dela é viável calcular a velocidade escalar/linear para um ponto da superfície da Terra na Linha do Equador com auxílio da seguinte fórmula:

$$V = \omega \cdot R$$

Sendo “R” o raio da Terra (6.371.000 metros), a velocidade escalar da Terra para um ponto na Linha do Equador será obtida.

- 7 Em posse de todos esses dados calculados, deve-se realizar o preenchimento da tabela a seguir, de forma a organizar os dados obtidos:

Nº do rastro	1	2	3	4
$\Delta\theta$ (graus)				
$\Delta\theta$ (radianos)				
$\omega$ (rad/s)				
v (m/s)				
v (km/h)				

- 8 O valor de referência para as velocidades angular e escalar da Terra são respectivamente: (i)  $\omega = 7,29 \times 10^{-5}$  rad/s ou 0,0000729 rad/s; e (ii)  $v = 465$  m/s ou 1675 km/h. Para comparar os resultados experimentais com esses valores de referência, deve-se traçar uma média aritmética entre os valores das velocidades angular e linear obtidos em relação aos rastros, chegando-se a um valor médio para a velocidade angular “ $\omega$ ” e a velocidade escalar “v”.

Na sequência, o preenchimento da seguinte tabela deve ser conduzido:

Grandeza	Experimental	Teórico
Velocidade angular $\omega$ (rad/s)		$7,29 \times 10^5$
Velocidade escalar $v$ (m/s)		465

- 9 Em posse de todos os dados coletados e com a consequente finalização do experimento está finalizado, o aluno deve acessar o “Google Classroom” e realizar a atividade para entrega por intermédio de um formulário on-line do “Google Forms”, ou presencialmente, conforme a escolha do professor. Para responder o referido formulário, é necessário utilizar as tabelas preenchidas no âmbito dos passos “7” e “8” deste **Roteiro 7** e anexá-las em tal formulário.

## ANEXO 18

O **Anexo 18** corresponde à atividade a ser aplicada no âmbito do experimento “Fotografando Estrelas – Parte 2” a ser realizado na **Parte II** da **Aula 8**, a qual pode ser acessada por meio do seguinte link:

[LINK DA ATIVIDADE](#)

Ainda, as instruções da atividade a ser aplicada no âmbito da **Aula 8** estão disponíveis abaixo.

## ATIVIDADE 3

1 Preencha as tabelas a seguir de acordo com os dados obtidos no experimento realizado:

Nº do rastro	1	2	3	4
$\Delta\theta$ (graus)				
$\Delta\theta$ (radianos)				
$\omega$ (rad/s)				
$v$ (m/s)				
$v$ (km/h)				

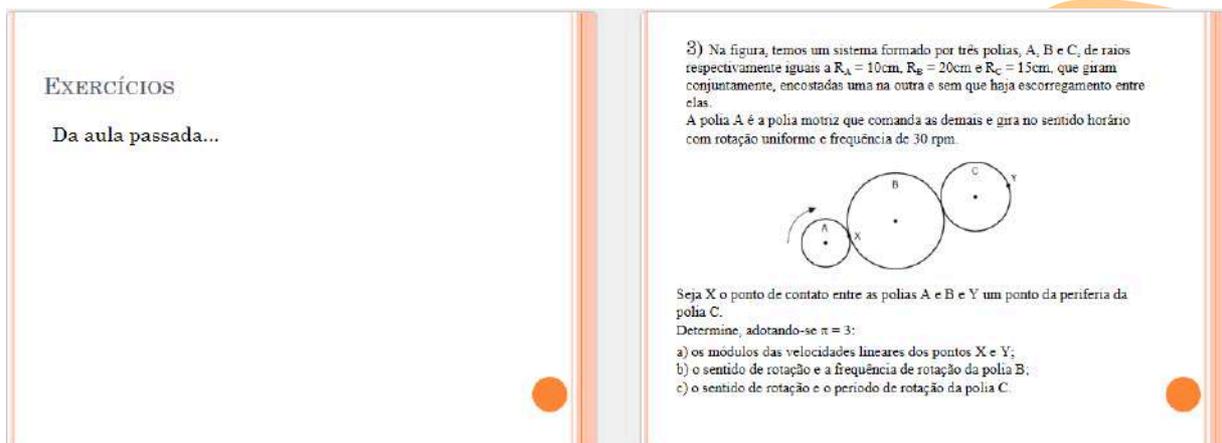
Grandeza	Experimental	Teórico
Velocidade angular $\omega$ (rad/s)		$7,29 \times 10^5$
Velocidade escalar $v$ (m/s)		465

# ANEXO 19

O Anexo 19 corresponde aos slides da Aula 9, os quais estão disponíveis no seguinte link:

[LINK DOS SLIDES](#)

Para fácil referência, tais slides também podem ser verificados adiante.



4) (Unicamp) Anemômetros são instrumentos usados para medir a velocidade do vento. A sua construção mais conhecida é a proposta por Robinson em 1846, que consiste em um rotor com quatro conchas hemisféricas presas por hastas, conforme figura abaixo. Em um anemômetro de Robinson ideal, a velocidade do vento é dada pela velocidade linear das conchas. Um anemômetro em que a distância entre as conchas e o centro de rotação é  $r=25$  cm, em um dia cuja velocidade do vento é  $v=18$  km/h, teria uma frequência de rotação de:

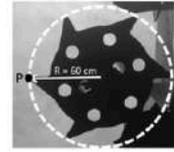
- a) 3 rpm.
- b) 200 rpm.
- c) 720 rpm.
- d) 1200 rpm.



(UNICAMP - 2014) As máquinas cortadeiras e colheitadeiras de cana-de-açúcar podem substituir dezenas de trabalhadores rurais, o que pode alterar de forma significativa a relação de trabalho nas lavouras de cana-de-açúcar. A pá cortadeira da máquina ilustrada na figura abaixo gira em movimento circular uniforme a uma frequência de 300 rpm. A velocidade de um ponto extremo P da pá vale:

Considere  $\pi = 3$ .

- a) 9 m/s
- b) 15 m/s
- c) 18 m/s
- d) 60 m/s



FIM





