



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE



Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física  
Sociedade Brasileira de Física  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

**FABIANO ROMERO BARBOSA CONRRADO**

**A “QUEDA DA MAÇÃ” E A LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL:  
MODELOS MENTAIS SOBRE MOVIMENTO E GRAVIDADE**

Campos dos Goytacazes/RJ  
2018,1



FABIANO ROMERO BARBOSA CONRRADO

## **A “QUEDA DA MAÇÃ” E A LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL: MODELOS MENTAIS SOBRE MOVIMENTO E GRAVIDADE**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense *Campus* Campos Centro, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadoras: Prof<sup>ª</sup>.Dr<sup>ª</sup>.Renata Lacerda Caldas  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Marília Paixão Linhares

Campos dos Goytacazes/RJ  
2018,1

Biblioteca Anton Dakitsch  
CIP - Catalogação na Publicação

C656" Conrado, Fabiano Romero Barbosa  
A "QUEDA DA MAÇÃ" E A LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL:  
MODELOS MENTAIS SOBRE MOVIMENTO E GRAVIDADE /  
Fabiano Romero Barbosa Conrado - 2018.  
169 f.: il. color.

Orientadora: Renata Lacerda Caldas  
Coorientadora: Marília Paixão Linhares

Dissertação (mestrado) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia Fluminense, Campus Campos Centro, Curso de Mestrado  
Nacional Profissional em Ensino de Física, Campos dos Goytacazes, RJ,  
2018.  
Referências: f. 119 a 122.

1. Sequência didática. 2. Gravitação Universal. 3. Aprendizagem  
significativa. 4. Modelos mentais. 5. História da Ciência. I. Caldas, Renata  
Lacerda, orient. II. Linhares, Marília Paixão, coorient. III. Título.



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE



MNPEF Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

A “QUEDA DA MAÇÃ” E A LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL: MODELOS  
MENTAIS SOBRE MOVIMENTO E GRAVIDADE

FABIANO ROMERO BARBOSA CONRRADO

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 13 de junho de 2018.

Banca Examinadora:

*Cassiana Barreto Hygino machado*

Dr.<sup>a</sup> Cassiana Barreto Hygino Machado

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IF Fluminense)

*Deise Miranda Vianna*

Dr.<sup>a</sup> Deise Miranda Vianna

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

*Maria Priscila Pessanha de Castro*

Dr.<sup>a</sup> Maria Priscila Pessanha de Castro

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)

*Renata Lacerda Caldas*

Dr.<sup>a</sup> Renata Lacerda Caldas

Orientadora e Presidente da Banca Examinadora

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IF Fluminense)

*Dedico este Trabalho a Deus, fonte de todo conhecimento.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais um sonho realizado.

A Nila, minha mãe pelo apoio irrestrito.

A Jozias (*in memorian*), meu pai, minha inspiração.

A Carminha, minha esposa, pela paciência e presença firme nos momentos mais difíceis. A minha filha Lavynia, incentivadora incondicional.

A Josiaila e Hudson Vander, meus irmãos: amo vocês!

Aos Pastores Eder José dos Reis e Valmir da Silva Braz, pelas orações e inúmeros conselhos. Aos Professores do MNPEF-IFF/Polo 34 pelo conhecimento partilhado.

Aos alunos da Turma 1001 do CIEP 141 Vereador Said Tanus José pelo empenho e dedicação neste projeto.

Aos meus amigos da turma 2016.1 do MNPEF-IFF/Polo 34 pelo apoio durante a caminhada.

As Professoras Marília Paixão Linhares e Renata Lacerda Caldas, pelos inúmeros conselhos, pelo apoio e carinho fraterno.

## RESUMO

### A “QUEDA DA MAÇÃ” E A LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL: MODELOS MENTAIS SOBRE O CONCEITO DE GRAVIDADE

FABIANO ROMERO BARBOSA CONRRADO

Orientadoras: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Renata Lacerda Caldas

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marília da Paixão Linhares

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O presente trabalho trata de uma investigação que focaliza a inserção de episódio histórico para o estudo da evolução das ideias sobre movimento e gravidade para a compreensão da Lei da Gravitação Universal. Acredita-se que tornando as aulas de Física mais dinâmicas e reflexivas por meio da articulação da História da Ciência, aliado a prática experimental e recursos de mídia, o aluno poderá elaborar modelos explicativos mais significativos sobre a Gravitação. Apoiado nos pressupostos teóricos sobre modelos mentais, aprendizagem significativa e história da ciência, realizou-se uma pesquisa de caráter qualitativo, cujo objetivo foi analisar a potencialidade de uma proposta didática baseada na História da Ciência para a explicitação de modelos mentais que apontem para a aprendizagem significativa de conceitos relacionados à Gravitação Universal. A proposta, constituída de uma sequência didática com sete momentos de aprendizagem e instrumentos diversificados para a coleta de dados forneceu subsídio para se conhecer e analisar os modelos mentais de trabalho elaborados pelos alunos na compreensão da Lei da Gravitação Universal. De forma geral pode-se verificar uma significativa evolução dos modelos mentais dos alunos durante a implementação da sequência, o que ratificou a relevância da proposta didática baseada na História da Ciência para fins de aprendizagem significativa da Lei da Gravitação Universal.

Palavras-chave: Sequência didática. Gravitação Universal. Aprendizagem significativa. Modelos mentais. História da Ciência.

Campos dos Goytacazes/RJ  
2018,1

## **ABSTRACT**

### **THE "FALL OF THE APPLE" AND THE LAW OF UNIVERSAL GRAVITATION: MENTAL MODELS ON THE CONCEPT OF GRAVITY**

**FABIANO ROMERO BARBOSA CONRRADO**

Advisors: Prof.: Renata Lacerda Caldas

Prof.: Marília da Paixão Linhares

Master's Dissertation presented to the Post-Graduation Program of the “Fluminense” Federal Institute of Education, Science and Technology, in the Professional Masters Course in Physics Teaching (MNPEF), as part of the requirements for obtaining the Master's degree in Physics Teaching.

The present work deals with an investigation that focuses the insertion of historical episode for the study of the evolution of ideas about movement and gravity for the understanding of the Law of Universal Gravitation. It is believed that by making Physics classes more dynamic and reflexive through the articulation of the History of Science, combined with experimental practice and media resources, the student will be able to elaborate more meaningful explanatory models about Gravitation. Based on the theoretical assumptions about mental models, meaningful learning and history of science, made a qualitative research for analyze the potential of a didactic proposal based on the History of Science for the explication of mental models that point to meaningful learning concepts related to Universal Gravitation. The sequence, consisting of seven moments of learning and diverse instruments for the data collection, provided a subsidy to know and analyze the mental models of work elaborated by the students in understanding the Law of Universal Gravitation. In general, it is possible to verify a significant evolution of the mental models of the students during the implementation of the sequence, which shows the relevance of the didactic proposal based on the History of Science for purposes of meaningful learning of the Law of Universal Gravitation.

Keywords: Didactic sequence. Universal Gravitation. Meaningful Learning. Mental Models. History of Science.

Campos dos Goytacazes, RJ

2018,1

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Plano inclinado de Galileu.....	25
Figura 2 – Canhão orbital de Newton.....	27
Figura 3 – Força Gravitacional.....	29
Figura 4 – Exemplo de Mapa Mental sobre Gravitação Universal.....	39
Figura 5 – <i>Print</i> de abertura do documentário.....	40
Figura 6 – <i>Print</i> do documentário – gravura de Galileu Galilei.....	42
Figura 7 – <i>Print</i> do documentário mostrando uma bola de tênis em queda livre.....	43
Figura 8 – <i>Print</i> do documentário mostrando a bola de tênis em queda livre.....	43
Figura 9 – <i>Print</i> do vídeo mostrando a queda da maçã.....	44
Figura 10 – <i>Print</i> do vídeo mostrando semelhanças entre a queda da maçã e o movimento da Lua.....	44
Figura 11 – <i>Print</i> do vídeo mostrando o lançamento de um projétil.....	44
Figura 12 – <i>Print</i> do vídeo da bala de canhão em órbita.....	45
Figura 13 – <i>Print</i> do vídeo mostrando a Lua em órbita.....	45
Figura 14 – <i>Print</i> do vídeo mostrando um túnel reto pelo interior da Terra.....	46
Figura 15 – <i>Print</i> do vídeo mostrando um túnel reto pelo interior da Terra.....	46
Figura 16 – Exemplo de representação pictográfica sobre a Queda da Maçã e a Queda da Lua.....	48
Figura 17 – Mão segurando e girando uma funda onde está uma pedra.....	52
Figura 18 – Força centrípeta e aceleração centrípeta sobre uma partícula em órbita circular..	54
Figura 19 – Sistema Terra-Lua.....	55
Figura 20 – Pêndulo simples.....	59
Figura 21 – Oscilação de um pêndulo simples.....	59
Figura 22 – Decomposição da força peso em um pêndulo simples.....	60
Figura 23 – Exemplo de Mapa Conceitual.....	63
Figura 24 – Registro do 1º momento.....	68
Figura 25 – Registro do 1º momento.....	68
Figura 26 – Mapa mental do Aluno 01.....	69
Figura 27 – Mapa mental dos Alunos 02 e 04.....	70
Figura 28 – Mapa mental do Aluno 03.....	71
Figura 29 – Mapa mental do Aluno 05.....	72
Figura 30 – Registro do 1º momento.....	73
Figura 31 – Registro do 1º momento.....	73
Figura 32 – Registro do 2º momento.....	74
Figura 33 – Registro do 2º momento.....	75
Figura 34 – Representações pictográficas do Aluno 01.....	78
Figura 35 – Representações pictográficas do Aluno 02.....	79
Figura 36 – Representações pictográficas do Aluno 03.....	80
Figura 37 – Representações pictográficas da Aluna 04.....	81
Figura 38 – Representações pictográficas do Aluno 05.....	83
Figura 39 – Registro do 3º momento.....	85
Figura 40 – Alunos realizando a atividade do quarto momento.....	88
Figura 41 – Item a da atividade 04 do Aluno 01.....	89
Figura 42 – Item b da atividade 04 do Aluno 01.....	89
Figura 43 – Item c da atividade 04 do Aluno 01.....	89
Figura 44 – Item d da atividade 04 do Aluno 01.....	90
Figura 45 – Item a da atividade 04 do Aluno 02.....	90
Figura 46 – Item b da atividade 04 do Aluno 02.....	90

Figura 47 – Item c da atividade 04 do Aluno 02.....	91
Figura 48 – Item d da atividade 04 do Aluno 02.....	91
Figura 49 – Item a da atividade 04 do Aluno 03.....	91
Figura 50 – Item b da questão 04 do Aluno 03.....	92
Figura 51 – Item c da atividade 04 do Aluno 03.....	92
Figura 52 – Item d da atividade 04 do Aluno 03.....	92
Figura 53 – Item a da atividade 04 da Aluna 04.....	93
Figura 54 – Item b da atividade 04 da Aluna 04.....	93
Figura 55 – Item c da atividade 04 da Aluna 04.....	93
Figura 56 – Item d da atividade 04 da Aluna 04.....	94
Figura 57 – Item a da atividade 04 do Aluno 05.....	94
Figura 58 – Item b da atividade 04 do Aluno 05.....	94
Figura 59 – Item c da atividade 04 do Aluno 05.....	95
Figura 60 – Item d da atividade 04 do Aluno 05.....	95
Figura 61 – Materiais utilizados no experimento.....	95
Figura 62 – O autor explicando o roteiro do experimento.....	96
Figura 63 – Alunas executando a atividade.....	96
Figura 64 – Alunos executando a atividade.....	96
Figura 65 – Alunos executando a atividade.....	97
Figura 66 – O autor deduzindo a expressão do pêndulo para calcular o valor de $g$ .....	97
Figura 67 – Alunos efetuando os cálculos para a obtenção do valor de $g$ .....	97
Figura 68 – Alunos efetuando os cálculos para a obtenção do valor de $g$ .....	98
Figura 69 – Atividade 05 do Aluno 01.....	98
Figura 70 – Continuação da atividade 05 do Aluno 01.....	99
Figura 71 – Atividade 05 dos Alunos 02 e 03.....	99
Figura 72 – Continuação da atividade 05 dos Alunos 02 e 03.....	100
Figura 73 – Atividade 05 da Aluna 04.....	100
Figura 74 – Continuação da atividade 05 da Aluna 04.....	101
Figura 75 – Atividade 05 do Aluno 05.....	101
Figura 76 – Continuação da atividade 05 do Aluno 05.....	102
Figura 77 – Introdução à atividade do mapa conceitual.....	103
Figura 78 – Alunos elaborando o mapa conceitual.....	103
Figura 79 – Aluna elaborando o mapa conceitual.....	103
Figura 80 – Aluno elaborando o mapa conceitual.....	104
Figura 81 – Mapa conceitual do Aluno 01.....	104
Figura 82 – Mapa conceitual do Aluno 02.....	105
Figura 83 – mapa conceitual do Aluno 03.....	106
Figura 84 – Mapa conceitual da Aluna 04.....	107
Figura 85 – Mapa conceitual do Aluno 05.....	108

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Quadro comparativo das ideias de Aristóteles, Galileu Galilei e Isaac Newton.....	34
Quadro 02 – Atividade Avaliativa (Quadro comparativo).....	53
Quadro 03 – Cronograma das atividades.....	65
Quadro 04 – Frequência da realização das atividades da Sequência didática.....	66
Quadro 05 – Quadro comparativo do Aluno 01.....	85
Quadro 06 – Quadro comparativo do Aluno 02.....	86
Quadro 07 – Quadro comparativo do Aluno 03.....	86
Quadro 08 – Quadro comparativo do Aluno 04.....	87
Quadro 09 – Quadro comparativo do Aluno 05.....	88

## **LISTA DE SIGLAS**

**PCNEM** – Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio

**CIEP** – Centro Integrado de Educação Pública

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
2.1 Aprendizagem Significativa de David Ausubel.....	17
2.2 Modelo Mental.....	19
2.3 História da Ciência no Ensino de Física.....	21
2.4 Origens da Lei da Gravitação Universal.....	24
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
3.1 Pesquisa qualitativa.....	31
3.2 Os sujeitos.....	31
3.3 Os instrumentos.....	31
3.4 O contexto da pesquisa.....	36
3.5 A pesquisa.....	36
<b>4 DESCRIÇÃO DO PRODUTO.....</b>	<b>38</b>
4.1 Comentários iniciais.....	38
4.2 A sequência didática.....	39
<b>5 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO.....</b>	<b>65</b>
5.1 Descrição e análise dos momentos.....	67
5.2 Modelos mentais de trabalho sobre movimento e gravidade.....	111
5.3 Categorização das dificuldades.....	112
5.4 Evolução dos modelos mentais.....	113
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>117</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>119</b>
<b>APÊNDICE A - Material do Professor.....</b>	<b>124</b>
<b>APÊNDICE B – Material do aluno.....</b>	<b>154</b>

## INTRODUÇÃO

Como docente de Física da Rede Pública Estadual de Ensino desde 2012 e motivado por leituras sobre a História da Ciência, tenho buscado refletir sobre a prática pedagógica, a fim de capacitar melhor os alunos a uma formação mais crítica e autônoma.

Fazer com que os alunos demonstrem maior interesse pelo estudo da Física não é uma tarefa fácil. Requer esforço e dedicação por parte do professor. Acredito que as aulas de Física precisam se voltar mais para a reflexão dos conceitos físicos, a fim de despertar maior interesse no aluno pelo conhecimento científico.

Enquanto aluno de graduação no curso de Licenciatura em Física, tive a oportunidade de cursar disciplinas como “*Evolução dos Conceitos da Física*”, as quais apresentavam o estudo da História da Ciência como elemento fundamental para o aprendizado de conceitos físicos. Simpatizante de tais ideias, busquei durante a formação conhecer mais sobre o mundo histórico por trás do processo de desenvolvimento científico.

Hoje acredito como Magalhães *et al.* (2002, p. 490), que “a História da Física apresenta os problemas que levaram à formulação de um particular conceito”, e sendo assim contribui de forma significativa para uma formação mais ampla. Conhecendo como o conceito foi elaborado, o aluno participa de todo o processo de desenvolvimento conceitual. Ele fica inserido na Ciência, atuando como participante e não como observador.

A importância da abordagem da História da Ciência no ensino é contemplada nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio – PCNEM considerando que,

a Física deve ser percebida enquanto uma construção histórica, como atividade social humana, que emerge da cultura e leva à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais. Alguns desses modelos são bem conhecidos como tendo sido substituídos por outros mais modernos como, por exemplo, o modelo geocêntrico, substituído pelo heliocêntrico, a teoria do calórico, substituída pela Termodinâmica, que incorpora o conceito de calor como energia e os sucessivos modelos explicativos da luz que foram substituídos pela noção moderna de complementaridade onda/partícula da luz. O surgimento de teorias físicas mantém uma relação complexa com o contexto social em que ocorreram (BRASIL, 1999, p. 27).

Nesse contexto, Martins (2006, p. 21) afirma que a inserção de episódios históricos nas aulas de Física contribui para a formação do senso crítico do aluno, pois permite que o aluno compreenda as relações entre ciência, tecnologia e sociedade como parte de um desenvolvimento histórico, cultural e humano. Capacita-se o aluno para ter uma visão mais holística da Física, elaborando modelos científicos mais significativos.

Do ponto de vista educacional, Moreira (1996) acredita que uma aprendizagem significativa ocorre quando o indivíduo consegue elaborar modelos mentais análogos aos modelos científicos ensinados. Logo, o estudo da Física na perspectiva da História da Ciência e com uso de episódios históricos pode contribuir para a elaboração de modelos mentais mais amplos.

Freire Júnior *et al.* (2004) em seu trabalho sobre o estudo de Newton acerca da força gravitacional, enfatiza a importância dos episódios da História da Ciência para o desenvolvimento da Lei da Gravitação Universal. Sugere que tais estudos sejam introduzidos

nos cursos de Licenciatura em Física e no ensino de Física no Ensino Médio. Ao fazê-lo, estaremos ensinando um bom conteúdo de Física, de modo atrativo, e contextualizando-o nos marcos do conhecimento científico da época. Estaremos, também, introduzindo os estudantes em uma reflexão sobre a produção da própria Física, examinando, em particular, o papel dos experimentos de pensamento e o papel das estratégias de persuasão na construção do conhecimento científico (FREIRE *et al.*, 2004, p. 30)

O episódio histórico intitulado “A *Queda da Maçã*” é sugerido por Martins (2006) como base para o ensino do conceito de gravidade. Associado a ideia de Freire Júnior *et al.* (2004) e Polito (2015) pressupõe-se que tais discussões podem ser relevantes para se capacitar o aluno a elaborar modelos mentais mais significativos sobre a gravitação de forma geral.

Para Moreira (1996, p. 9), a construção de modelos mentais é o primeiro passo da interação cognitiva que caracteriza a aprendizagem significativa. Logo, dar significados a conhecimentos novos implica construir modelos mentais cada vez mais abrangentes e significativos.

Johnson-Laird (1983), em sua teoria dos modelos mentais, defende que as pessoas raciocinam com modelos mentais, análogos estruturais da realidade em que vivem, os quais podem ser melhorados, tornando-se mais abrangentes, ou não, de acordo com os desafios propostos pelo estudo de uma temática.

Nessa perspectiva, o presente trabalho trata de uma investigação que focaliza a inserção de episódio histórico para o estudo da evolução das ideias sobre movimento e gravidade para a formulação da Lei da Gravitação Universal. De forma geral, pretende-se saber **quais modelos mentais uma proposta didática baseada na História da Ciência, demonstram acerca da aprendizagem de conceitos relacionados à Gravitação Universal em nível médio, no contexto de uma escola do estado do Rio de Janeiro?**

Acredita-se que tornando as aulas de Física mais dinâmicas e desafiadoras por meio da articulação da História da Ciência com prática experimental e outros recursos, o aluno poderá elaborar modelos explicativos mais significativos sobre a Gravitação.

A fim de responder à pergunta de partida, o objetivo geral da pesquisa foi **analisar a potencialidade de uma proposta didática baseada na História da Ciência para a explicitação de modelos mentais que apontem para a aprendizagem significativa de conceitos relacionados à Gravitação Universal.**

Mais especificamente busca-se elaborar e aplicar uma sequência didática que apresente a evolução histórica sobre o movimento e gravidade, a fim de motivar a elaboração pelos alunos de modelos mentais sobre conceitos relacionados a Gravitação. Refletir sobre a veracidade do episódio histórico *A Queda da Maçã*, a fim de fornecer subsídios para o aluno elaborar modelos sobre a queda dos corpos. Mostrar a relação existente entre os movimentos terrestre e celeste e a compatibilidade de valores de aceleração por meio de experimentos físicos e de “pensamento”, a fim de levar o aluno a elaborar modelos representativos da natureza gravitacional da força centrípeta. Finalmente, elaborar um produto educacional resultante da pesquisa, para servir de material instrucional auxiliar para o professor no ensino da Lei da Gravitação Universal em nível médio.

Concorda-se com Moreira e Greca (2004) quando afirmam que uma mudança conceitual é muito complicada, por isso deve ser pensada de outra maneira, muito mais como uma evolução conceitual do que como uma substituição de concepções. Por isso a ênfase na análise da evolução dos modelos mentais no contexto dos episódios históricos pode ser um caminho que aponte para a elaboração de materiais didáticos que facilitem essa mudança.

A pesquisa de cunho qualitativo foi desenvolvida com turma de 1º ano do Ensino Médio Regular de uma escola estadual do Noroeste Fluminense. A proposta didática elaborada, constituída de uma sequência com sete momentos de aprendizagem e instrumentos diversificados para a coleta de dados forneceu subsídio para se conhecer e analisar os modelos mentais de trabalho elaborados pelos alunos na compreensão da Lei da Gravitação Universal.

No capítulo 2 será abordado o referencial teórico, no capítulo 3 descreve-se a metodologia da pesquisa, destacando-se o contexto, os sujeitos, os instrumentos utilizados, as etapas e o método de análise dos dados da pesquisa.

No capítulo 4 apresenta-se o produto educacional desenvolvido na pesquisa. A descrição da aplicação do produto, bem como a análise dos resultados baseada nas teorias da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1980) e dos Modelos Mentais de Jonhson-Laird (1997), são discutidos no capítulo 5 desta dissertação de mestrado. No capítulo 6 são feitas as considerações finais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O enfoque desta pesquisa bibliográfica foram artigos científicos em Revistas de Ensino de Física e Dissertações relacionadas aos temas Gravitação Universal no Ensino Médio, Aprendizagem Significativa (Ausubel, 1968 *apud* MOREIRA, 2012) e Modelos Mentais ((1983 *apud* MOREIRA, 1996).

### 2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL

O termo *aprendizagem significativa*<sup>1</sup> foi definido por Ausubel (1968 *apud* MOREIRA, 2012, p. 02), como aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva (aquela que não é ao pé-da-letra) e não-arbitrária (não é qualquer interação) com aquilo que o aprendiz já sabe.

A aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação ancora-se em conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Essa nova informação é definida por Ausubel como *subsunção*, que pode ser entendida como um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, dando significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. A atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles (MOREIRA, 2012).

Para Ausubel (1968 *apud*<sup>2</sup> POZZO, 1998, p. 212) para que aconteça uma aprendizagem significativa é necessário que tanto o material que se deve aprender como o sujeito que aprende satisfaça determinadas condições: que possua significado em si mesmo e deve ser composto por elementos organizados, possuindo um significado lógico e estruturados de forma que seus elementos estabeleçam uma conexão entre si de maneira não arbitrária.

De acordo com Ausubel (1968 *apud* MOREIRA, 2012, p. 02), aprendizagem significativa “deve ser preferida em relação à aprendizagem mecânica”, pois pressupõe que o aluno tenha conceitos já assimilados em sua estrutura cognitiva.

A aprendizagem mecânica ocorre quando novas informações estabelecem pouca ou nenhuma associação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva. De acordo com Moreira (2010), aprendizagem mecânica é

---

<sup>1</sup>David Ausubel (1918-2008), graduou-se em Psicologia e Medicina, doutorou-se em Psicologia do Desenvolvimento na Universidade de Columbia, onde foi professor no Teacher’s College por muitos anos; dedicou sua vida acadêmica ao desenvolvimento de uma visão cognitiva à Psicologia Educacional.

<sup>2</sup>AUSUBEL, D.P. (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Aquela praticamente sem significado, puramente memorística, que serve para as provas e é esquecida, apagada, logo após. Em linguagem coloquial, a aprendizagem mecânica é a conhecida decoreba, tão utilizada pelos alunos e tão incentivada na escola (MOREIRA, 2010, p. 12).

Contudo, caso esses conceitos sejam inexistentes sugere-se a utilização de organizadores prévios para servirem de pontes cognitivas para a nova aprendizagem. Os organizadores prévios são materiais apresentados antes do estudo do material de aprendizagem e em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade. A principal função do organizador prévio é a de servir de ponte entre o que aprendiz já sabe e o que ele deveria saber, a fim de que o novo material pudesse ser aprendido de forma significativa. Ou seja, organizadores prévios são úteis para facilitar a aprendizagem na medida em que funcionam como “pontes cognitivas” (MOREIRA, 2012, p. 02).

Ausubel (2003<sup>3</sup> *apud* MOREIRA, 2012, p.11) aconselha que a elaboração do organizador prévio deva seguir uma sequência lógica: 1) que possua ideias relevantes, estabelecidas e disponíveis na estrutura cognitiva para que logicamente novas ideias possam ser potencialmente significativas sejam formadas, e assim realmente significativas e estáveis; 2) as ideias mais gerais e inclusivas como ideias ancoradas alteradas adequadamente pode oferecer maior estabilidade se realmente disponível na estrutura cognitiva; 3) o fato do organizador tentar identificar um conteúdo relevante e indicar de modo explícito a relevância do novo material de aprendizagem.

Segundo a teoria de David Ausubel *et al.* (1980), a ocorrência da aprendizagem significativa é pautada em dois princípios:

a) A *diferenciação progressiva*, processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor (um conceito ou uma proposição, por exemplo) resultante da sucessiva utilização desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos.

b) A *reconciliação integradora*, processo da dinâmica da estrutura cognitiva, simultâneo ao da diferenciação progressiva, que consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados, fazer superordenações (MOREIRA, 2012, p. 06).

Existem estratégias e instrumentos facilitadores da aprendizagem significativa, pautadas nos princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora, um deles são os mapas conceituais. São considerados diagramas conceituais hierárquicos que destacam

---

<sup>3</sup> AUSUBEL, D.P. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas. Tradução do original *The acquisition and retention of knowledge* (2000).

conceitos de um certo campo conceitual e as relações (proposições) entre eles (NOVAK; GOWIN, 1984 *apud* MOREIRA, 2005).

Os mapas conceituais são propostos como uma estratégia potencialmente facilitadora de uma aprendizagem significativa. De maneira geral, os mapas conceituais são esquemas que indicam a relação entre conceitos, ou entre palavras que são utilizadas para representar os conceitos. Os mapas conceituais são diagramas de significados, relações significativas, o que os tornam diferentes de organogramas e outros diagramas. Além disso, são diferentes também dos mapas mentais (que são mais livres) e que não se ocupam de relações entre conceitos (MOREIRA, 2005).

## 2.2 MODELO MENTAL

O conceito de modelo mental enfatizado na presente pesquisa alinha-se com a visão de Johnson-Laird (1983). Em sua teoria ele afirma que o modelo mental seria como se fosse uma réplica interna, elaborada em nossa mente, e que possui a mesma “relação-estrutura” com o fenômeno que representa.

A teoria de Philip Johnson-Laird (1983) focaliza as representações mentais. Para ele, a habilidade em dar explicações está intimamente relacionada com a compreensão daquilo que é explicado. E para se compreender qualquer fenômeno ou estado de coisas, é preciso ter um modelo funcional dele.

Segundo Moreira (1996, p. 195), “um modelo mental é uma representação interna de informações que corresponde analogamente com aquilo que está sendo representado, seja qual for ele; são análogos estruturais do mundo”. É uma representação interna do mundo externo que possa ser expresso, mesmo que através da imaginação.

As representações podem ser divididas em externas, manifestações que o indivíduo explicita por meios de símbolos linguísticos, pictóricos ou diagramáticos, como, por exemplo, mapas, pinturas, manuais, descrições escritas ou internas, que podem ser representações analógicas ou representações proposicionais (MOREIRA, 2009).

As representações analógicas são não-discretas (não-individuais) e não tem uma rígida organização de combinação entre organizadores internos, usando aqueles específicos para a informação. A imagem visual é um exemplo típico de representação analógica, mas também há as auditivas, as olfativas, as tácteis (MOREIRA, 1996).

As representações proposicionais se diferem das analógicas por serem discretas (individuais), abstratas, são organizadas segundo regras rígidas e captam o conteúdo

ideacional da mente independentemente da característica da fonte de informação, ou seja, em qualquer língua e ou através de qualquer dos sentidos (MOREIRA, 1996).

Johnson-Laird (1983) trata o conceito de representações em termos de modelos mentais elaborados para solucionar um problema. Para esse autor, as pessoas raciocinam com modelos mentais, que seriam como blocos cognitivos que podem ser combinados conforme a necessidade. Esses blocos representam aquilo que o sujeito entende e podem sofrer alterações tornando-se mais abrangentes e estáveis.

Para Laird não existe um único modelo mental para descrever certo estado. Pode existir uma diversidade de modelos, ainda que apenas um represente de maneira precisa esse estado. Moreira (2009) afirma neste caso, que cada modelo mental é uma representação analógica desse estado e, reciprocamente, cada representação analógica corresponde a um modelo mental.

Segundo a teoria de Johnson-Laird (1983), há três premissas fundamentais acerca da modelagem esquemática:

Nós construímos modelos mentais que representam o nosso mundo físico e social no que tange aos seus aspectos mais importantes, valendo-se de elementos para tentar explicar o mundo; a nossa visão do mundo depende muito das interações anteriormente estabelecidas, e o nosso conhecimento dependerá de nossa habilidade na construção modelos de mundo; os modelos mentais são manifestações pessoais internas, mas podem ser explorados diretamente. Basta apenas que haja uma investigação com o uso das ferramentas certas, como, por exemplo, os modelos conceituais (JONHSON-LAIRD, 1983 *apud* MOREIRA, 1996, p. 207).

Logo, a principal função de um modelo mental é permitir ao seu construtor explicar e fazer previsões sobre o sistema físico que o modelo representa, relacionando com modelos conceituais, utilizados como facilitadores da organização concreta dos modelos mentais (MOREIRA, 1996).

Segundo Moreira (1996), os modelos mentais também têm grande importância no processo de verificação de indícios da aprendizagem significativa, pois permitem a associação e comparação dos modelos de trabalho antes e depois da interação com certa informação. Por esse motivo optou-se em analisar os modelos mentais elaborados pelos sujeitos investigados na presente pesquisa, a fim de se verificar indícios de aprendizagem significativa. Tais modelos por serem instáveis e resultantes da tentativa de solucionar um problema específico, foram tratados como *Modelos Mentais de Trabalho*, os modelos utilizados pelos alunos em

cada situação de aprendizagem (MARTINS, 2013)<sup>4</sup>. Consciente que um modelo vai sendo alterado por meio de inferências até que ele seja satisfatório ou dê conta do novo conhecimento. Não se trata de um construto, nem de um esquema, mas de um *modelo de trabalho* (SOUZA e MOREIRA, 2005)<sup>5</sup>.

Em sua pesquisa sobre a análise dos modelos mentais resultantes do estudo da Física Moderna e Contemporânea (FMC), desenvolvida em turmas da Educação de Jovens e Adultos e utilizando atividades didáticas diferenciadas em ciclos de uma pesquisa-ação, Martins (2013) conclui que os modelos mentais inferidos podem ser úteis para se verificar a aprendizagem da FMC, bem como evidenciar a progressão conceitual. Podem também atuar como excelentes ferramentas diretivas para se planejar e implementar atividades facilitadoras da aprendizagem significativa.

Duque *et al.* (2015), após uma investigação envolvendo 92 estudantes de diversas idades, verificaram por meio da análise dos modelos mentais discrepâncias em relação a maturidade conceitual dos grupos de alunos que receberam uma mesma instrução formal. Verificaram que avaliações tradicionais não conseguem refletir o real estado de evolução cognitiva dos estudantes, fazendo com que estas lacunas conceituais não sejam observadas durante o percurso acadêmico.

### 2.3 HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA

Nos últimos anos houve um crescente interesse na inserção da História da Ciência no ensino. Mas afinal, qual será o motivo desse interesse? O que dizem os documentos oficiais acerca da História da Ciência no ensino? Quais são as vantagens e desvantagens na inserção da História da Ciência nos currículos escolares? O que se tem pesquisado a respeito do assunto?

Segundo Matthews (1995),

a história, a filosofia e a sociologia da ciência não têm todas as respostas para crise do ensino de ciências, porém possuem algumas delas: podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo deste

---

<sup>4</sup> MARTINS, R. L. C. Estudo dos modelos mentais elaborados por alunos do PROEJA sobre temas de FMC: contribuições para o planejamento do ensino. *Anais do IX Congresso Internacional sobre Investigación em didáctica de las Ciencias* (2013): 1849-1854.

<sup>5</sup>SOUZA, C. M. S. G.; MOREIRA, M. A. (2005). Representações sociais. In: Representações mentais, modelos mentais, e representações sociais: textos de apoio para pesquisadores em educação em ciências. Marco Antonio Moreira (org). Porto Alegre: UFRGS, p.91-128.

modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral da matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, dar uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas (MATTHEWS, 1995, p. 164).

As aulas de ciências não têm se mostrado atrativas, pois os alunos não compreendem o porquê de estudar ciência, não se sentem motivados a investigar e questionar. Matthews ressalta que o ensino de ciência se desenvolveu completamente dissociado da História e Filosofia da Ciência e, somente no início dos anos 90 houve uma reaproximação significativa entre esses campos. Para ele, essas iniciativas vêm a ser oportunas, considerando-se a largamente documentada crise do ensino contemporâneo de ciências, evidenciada pela evasão de alunos e de professores das salas de aula bem como pelos índices assustadoramente elevados de analfabetismo em ciências (MATTHEWS, 1995, p. 165).

A História da Ciência vem ganhando espaço nas salas de aula brasileiras, principalmente após a formulação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (QUINTAL, GUERRA, 2009, p. 22), que estabeleceram algumas regras, tais como: interdisciplinaridade, conexão com o cotidiano do aluno, desenvolvimento de competências, o exercício da cidadania e a preparação para o mercado de trabalho. O trabalho também ressalta a importância da investigação dos fenômenos naturais e o exercício de habilidades inerentes às análises qualitativa e quantitativa dos fenômenos observados.

A História da Ciência não se limita a reconstrução de fatos históricos, posicionando os acontecimentos do passado numa cronologia até o presente. Silva (2010) afirma que esse tipo de História da Ciência ficou conhecido por *quase-história*. Nessa abordagem, é comum prevalecer a ideologia científica do autor ou do historiador da ciência que narra os fatos históricos e a consequente omissão de grandes pensadores como Isaac Newton, Galileu e Einstein, com a finalidade, quase sempre previamente definida, de enaltecer o lado genial do cientista (Ibid., 2010, p. 13).

Desta forma acredita-se como Silva (2010), que a História da Ciência constitui uma fonte inesgotável de informações sendo, portanto, tarefa do professor organizá-las e selecioná-las da melhor maneira possível, a fim de proporcionar ao educando a conexão entre a natureza da ciência e sua evolução no decurso da história. Fazendo isto, “estamos ensinando um bom conteúdo de Física, de modo atrativo e contextualizando-o nos marcos do conhecimento científico da época” (FREIRE JUNIOR *et al.*, 2004, p. 25)

Teixeira *et al.* (2010) apresenta uma revisão sobre o debate historiográfico entre as interpretações dos historiadores I. Bernard Cohen e Richard S. Westfall. Tal debate discute o caminho que Newton teria tomado para chegar à Lei da Gravitação Universal. A partir destas análises, discutiram-se as possíveis contribuições que esta revisão pode trazer para o ensino do tópico Gravitação Universal orientado pela História e Filosofia da Ciência. O debate historiográfico que propõe o artigo sobre os passos de Newton em direção à Gravitação Universal pode ser benéfico no sentido de tornar explícito o fato de que Newton desenvolveu esse conhecimento através de um processo lento, trabalhoso e com a contribuição de outros estudiosos, portanto, longe de ter sido obtido por meio de *insights* como é divulgado, por exemplo, no inverossímil episódio da “Queda da Maçã”, encontrado em alguns livros didáticos de Física (TEIXEIRA *et al.*, 2010, p.243).

O debate proposto por Teixeira *et al.* (2010, p.244) também mostra como Newton desenvolveu o conceito de força e ilustra os processos pelos quais passou até amadurecer sua visão de mundo e chegar a uma concepção acerca do movimento planetário que o permitiu elaborar a Lei da Gravitação Universal. Assim, todos esses aspectos podem contribuir para propiciar aos estudantes visões mais críticas e mais próximas das concepções pós-positivistas sobre determinados aspectos acerca da natureza da ciência, tais como: o conhecimento científico é coletivo, cultural, conjectural, provisório e dinâmico, é influenciado por aspectos subjetivos, não é rígido nem linearmente construído, dentre outros.

Dentre os trabalhos na temática da História da Ciência, Simon (2016) propõe uma sequência didática, com abordagem não convencional, para o ensino do Geocentrismo, Heliocentrismo e da Gravitação Universal. O pesquisador insere a História da Ciência com a finalidade de propor uma discussão em sala de aula que incluísse a perspectiva histórica do conhecimento de modelos de Universo, Sistema Solar e sobre a Gravitação Universal. Como resultado observou que a ênfase na História da Ciência para o ensino desses temas, fornece ao aluno uma visão mais apropriada da natureza da ciência e também favorece o aprendizado de conteúdos científicos.

Aliada a História da Ciência, a inserção de experimentos torna-se uma ferramenta eficaz ao propiciar ao aluno a eficiência na construção e aprendizagem de conceitos e “modelos científicos”. Alves (2006, p. 05) em seu trabalho utilizou experimentos em uma turma denomina Experimental e em outra, denominada Tradicional, utilizou uma metodologia de aula expositiva. Como resultados observou que os alunos da turma Experimental obtiveram melhor desempenho do que os alunos da turma Tradicional, fazendo crer que o tratamento aplicado facilitou a aprendizagem significativa dos conceitos físicos abordados. A

metodologia de tomada de dados incorporou observação participativa, avaliações escritas ao longo do semestre e um questionário de opinião.

## 2.4 ORIGENS DA LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

Na presente pesquisa de mestrado buscou-se analisar a evolução dos conceitos de **movimento** e **gravidade**, partindo das concepções aristotélicas até chegar às ideias que levaram Isaac Newton à formulação das leis da Mecânica.

Desprende-se inicialmente que Aristóteles (384-322 a.C.) classificava o movimento em duas categorias: natural ou violento. O repouso era considerado como o estado natural do objeto, o qual só poderia sair desse estado mediante a ação de uma força. Essa ideia se tornou o pensamento oficial da Igreja e das primeiras universidades, ficando arraigada em nossa cultura (HEWITT, 2009, p. 20).

A ideia de que um objeto continua a se deslocar para sempre era considerada absurda, pois implicaria num universo infinito. Ao observar o movimento de objetos na natureza, Aristóteles notou que assim que a causa (força) cessava, o efeito (movimento) também cessava (PEDUZZI, 1996, p. 55). Ao não considerar a força de atrito, concluiu, erroneamente, que a velocidade deveria ser proporcional à força ( $F$ ) e inversamente proporcional à resistência do meio ( $R$ ). Em termos matemáticos:  $v \propto F/R$ .

Segundo afirma Porto (2009, p. 01), as ideias de Aristóteles referentes aos fenômenos da natureza estavam baseadas na simples observação, sem a realização de experimentos cuidadosos. Isto é o que a maioria das pessoas faz seu no dia-a-dia: aprende-se por observação.

Para Aristóteles, a ideia de que o centro da Terra seria o centro do Universo (modelo geocêntrico), foi a base para compreensão do conceito de queda livre. Marques (2014, p. 364) pondera que essa ideia fornece subsídios para a compreensão de que objetos próximos a superfície da Terra busquem seu estado natural, neste caso, o solo. Além disso, Aristóteles também sugeriu a universalidade das leis físicas, afirmando que, no firmamento (mundo supralunar), as órbitas seriam regulares e perfeitas. No nosso mundo (sublunar), seria aplicado outro princípio – o do movimento em busca do lugar próprio de cada objeto.

Na Idade Média, o conhecimento era propriedade da Igreja, que adotava o pensamento aristotélico como oficial. John Philoponus foi um dos primeiros estudiosos a argumentar contra a ideia de Aristóteles acerca da proposição da velocidade proporcional a força,

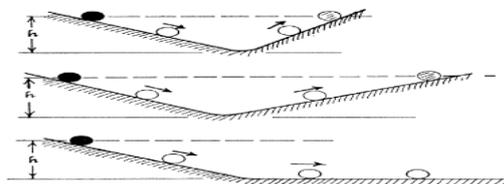
propondo em vez de  $v \propto F/R$ , deveríamos ter  $v \propto F - R$ , sugerindo um movimento no vácuo, onde a resistência seria zero (BAPTISTA; FERRACCIOLI, 2000, NEVES *et al*, 2008).

Teixeira e Oliveira (2010, p. 548) afirmam que Philoponus dizia que o ar não sustentava o objeto, mas que cada objeto em movimento tinha uma força interna (*impetus*) que aos poucos ia sendo consumida à proporção que o objeto se movia, explicando por exemplo, o movimento de projéteis.

Foi Jean Buridan (1300-1358), reitor da Universidade de Paris, quem introduziu o conceito de *impetus* como proporcional ao produto da massa pela velocidade, afirmando que o *impetus* só poderia diminuir com a ação de uma força, surgindo assim uma primeira noção de inércia (*I*). Entretanto coube a Nicole Oresme (1323-1382), aluno de Buridan, a afirmação de que não podemos detectar um movimento retilíneo com velocidade constante. Isto é, a situação de repouso e a de movimento com velocidade constante são equivalentes (TEIXEIRA e OLIVEIRA, 2010).

Caminhando pela História da Ciência nos deparamos com Galileu Galilei (1564-1642) realizando experimentos cuidadosos com planos inclinados para demonstrar que a distância (*d*) percorrida em queda livre era proporcional ao quadrado do tempo ( $t^2$ ). Em outro experimento, ele utilizou dois planos inclinados onde, ele largava a bolinha de uma determinada altura no plano da esquerda e observava que ela sempre atingia a mesma altura no plano da direita. Esses resultados eram independentes da massa da bolinha e da inclinação dos planos. Galileu chegou à conclusão de que, se o plano da direita estivesse com inclinação zero, a bolinha tenderia a se deslocar infinitamente, com velocidade constante (HEWITT, 2009, p. 50).

**Figura 1-** Plano inclinado de Galileu



Fonte: <http://balisticaexterna.org/mru1.html>

No contexto do estudo da astronomia Johannes Kepler (1571-1630), discípulo de Copérnico, completaria a ideia do modelo heliocêntrico, baseando-se nas ideias de Tycho Brahe, que durante os últimos 38 anos de vida produzira mapas celestes de alta precisão (BARRETO, 2012, p. 83). Em seu leito de morte, Tycho Brahe pediu aos presentes que não permitissem que sua vida tivesse sido em vão, o que finalmente permitiu a Kepler ter acesso

às suas observações. De posse de mapas e dados herdados de Tycho Brahe, Kepler tirou duas importantes conclusões:

1ª: Os planetas descrevem órbitas elípticas, estando o Sol num dos focos (1ª Lei);

2ª: Marte, quando estava mais próximo do Sol, tinha uma velocidade maior do que quando estava mais longe dele. Kepler percebeu que havia uma relação entre a velocidade do planeta e sua distância até o Sol, e que a área varrida pelo raio vetor é a mesma para intervalos de tempos iguais (2ª Lei).

Dez anos após enunciar as duas primeiras leis, Kepler publicou a 3ª lei, conhecida como a Lei dos períodos: O quadrado do período de revolução de cada planeta é proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol ( $T^2 = K \cdot r^3$ ). Esta lei permite determinar o período de qualquer planeta do Sistema Solar. Saturno, por exemplo, gasta 29,5 anos terrestres em seu movimento de translação.

Para Barreto (2012, p. 85) o sistema de universo proposto por Kepler não considerava as forças gravitacionais, pois ele imaginou que os planetas se sustentavam por sete sólidos regulares inscritos uns nos outros e apoiados nas estrelas fixas. As leis de Kepler eram corretas, mas os sólidos não explicavam satisfatoriamente como o Universo se sustentava. As Leis de Kepler não explicavam as causas do movimento dos planetas.

Foi então que Isaac Newton formulou a hipótese de que o movimento dos corpos celestes se devia a uma força dirigida ao Sol, que produz uma aceleração que força a velocidade do planeta a mudar continuamente (GIACOMETTI, 2015, p. 235). A maior contribuição que Isaac Newton (1642-1727) deixou à ciência moderna, sem dúvida, foi a Lei da Gravitação Universal. Segundo Chaves (2001) e Barreto (2012), Newton unificou os fenômenos celestes e terrestres por meio de leis universais, sendo considerada uma das maiores realizações da cultura ocidental.

Após a grande peste, Newton voltou a Cambridge e, dois anos mais tarde (em 1669), assumiu a cátedra de Matemática na Universidade. Segundo Martins (2006, p. 167), os anos que ele passou refugiado da peste (1665-1666) são chamados de "anos milagrosos", pois foi nessa época que Newton desenvolveu grande parte de sua obra. Fez a decomposição da luz branca através de um prisma de vidro e, segundo a lenda, teria observado a queda de uma maçã, e a partir daí desencadeado os estudos sobre a gravitação. A maçã se impôs como portadora da força gravitacional (ou da gravidade enquanto força).

Em artigo da revista *Perspicillum* (MARTINS, 1990) do Museu de Astronomia e Ciências (RJ), há um relato de Jonh Conduitt, marido de Catherine Barton, sobrinha de Newton a respeito do episódio da maçã (BASSALO, 1996, p.339). O fato deu-se no período

da grande peste, motivo de Newton ter saído de Cambridge e voltado para a fazenda de sua mãe. Ao passear pelo jardim, **Newton teria observado uma maçã caindo e ocorreu-lhe a ideia de que o mesmo poder que fazia com que uma maçã caísse talvez fosse responsável por reter a Lua presa a Terra, impedindo-a de se afastar** (BARRETO, 1995).

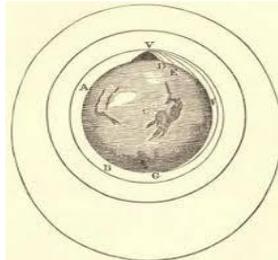
Em 1664, o astrônomo Edmund Halley foi a Cambridge e perguntou a Newton, qual seria, em sua opinião, a órbita de um planeta atraído pelo Sol por uma força inversamente proporcional ao quadrado da distância. Newton respondeu que seria uma elipse, conforme já havia calculado (WESTFALL, 1995, p.159). Halley conseguiu convencer Newton a publicar suas conclusões, assumindo os encargos financeiros da publicação feita pela Royal Society.

Newton começou a escrever os *Principia – Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* em 1685 que somente foi publicado em 1687. A obra sintetiza de forma perfeita a ciência de mais de dois mil anos, demonstrando através de relações matemáticas que as órbitas dos corpos celestes satisfazem as Leis de Kepler (LUIZ, 2007, p. 107). Relacionando a velocidade e a força centrípeta no movimento circular com a lei dos períodos, também provou que estas órbitas são causadas por forças que variam com o inverso do quadrado da distância ao centro de cada órbita.

A Mecânica Clássica era capaz de explicar o movimento de todos os corpos celestes e terrestres, fundindo Astronomia e Mecânica, as quais eram consideradas ciências distintas. **Newton comprovou que a força que mantém a Lua presa à órbita da Terra é da mesma natureza da força que acelera uma pedra na superfície da Terra.** Tal conclusão unificou a “física terrestre” e a “física celeste”, e com isso a gravidade deixou de ser um fenômeno pertencente apenas às imediações da superfície terrestre estendendo-se a distâncias que ultrapassam a órbita lunar (KEMPER, 2007, p. 48).

Para explicar o movimento da Lua em volta da Terra, Newton usou o exemplo do canhão disparando projéteis do alto de uma montanha. Sabia-se que um projétil atingiria o solo após percorrer determinada distância. A Figura 2 mostra que a medida que a velocidade inicial aumenta, a distância percorrida aumentará a ponto de colocar o projétil em órbita.

**Figura 2** – Canhão orbital de Newton



Fonte: [www.if.ufrgs.br](http://www.if.ufrgs.br)

Para que a situação descrita acima fosse possível, a velocidade inicial do projétil deveria ser de 28000 km/h e descreveria uma órbita em torno da Terra em 1 hora e 25 minutos. A Lua, por exemplo, orbita a Terra a uma velocidade de 3600 km/h. Caso sua velocidade fosse menor, ela cairia na Terra; se fosse mais alta, ela escaparia da órbita terrestre e se perderia no espaço.

Newton entendeu, assim, que há a necessidade de uma força para manter os planetas em movimento circular, e que ela é a mesma força gravitacional que atrai os objetos em direção ao solo (MARQUES, 2014, p. 367).

Na Proposição IV do Livro III dos Principia, Newton argumenta que **a força que mantém a Lua em sua órbita é da mesma natureza que a força que atrai um corpo na superfície da Terra**. Segundo Newton (2010, p. 19), “a Lua gravita em torno da Terra, e é sempre retirada de seu movimento retilíneo e reconduzida a sua órbita, pela força da gravidade”.

Sabe-se que a Terra exerce uma atração sobre os objetos que estão sobre sua superfície. Newton conta que esta força se estendia até a Lua e produzia a aceleração centrípeta necessária para manter a Lua em órbita. O mesmo acontece com o Sol e os planetas. Então Newton formulou a hipótese da existência de uma força de atração universal entre os corpos em qualquer parte do Universo (MARTINS, 2006, p. 186).

A força centrípeta que o Sol exerce sobre um planeta de massa  $m$ , que se move com velocidade de módulo  $v$  a uma distância  $r$  ao Sol é dada por:

$$F_{cp} = mv^2/r \quad (1)$$

Assumindo nesse instante uma órbita circular, que mais tarde será generalizada para qualquer tipo de órbita, o período  $T$  do planeta é dado por:

$$T = 2\pi r/v \rightarrow v = 2\pi r/T. \quad (2)$$

Pela 3ª Lei de Kepler:

$$T^2 = kr^3, \quad (3)$$

onde a constante  $K$  depende das unidades de  $T$  e  $r$ . Temos então que:

$$v^2 = 4\pi^2 r^2 / Kr^3 = 4\pi^2 / Kr \rightarrow v^2 \propto 1/r. \quad (4)$$

Seja  $m$  a massa do planeta e  $M$  a massa do Sol. Substituindo-se esta velocidade na expressão da força centrípeta exercida pelo Sol ( $F_{cp}$ ) no planeta, a força pode ser então descrita como:

$$F \propto m/r^2, \quad (5)$$

E, de acordo com a 3ª Lei de Newton, o planeta exerce uma força de mesma intensidade e de sentido oposto sobre o Sol, de massa  $M$ , de modo que também podemos dizer que:

$$F \propto M/r^2. \quad (6)$$

Newton deduziu então que:

$$F = G.M.m/r^2. \quad (7)$$

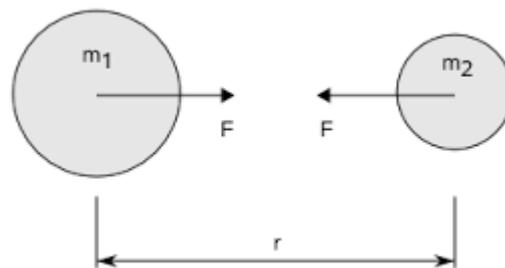
Cutnell e Johnson (2006, p. 99) enuncia a Lei da Gravitação Universal como:

*Toda partícula no universo exerce uma força de atração sobre todas as outras partículas. Uma partícula é um pedaço de matéria, de tamanho pequeno o suficiente para ser considerado como um ponto matemático. Para duas partículas que possuem massas  $m_1$  e  $m_2$  e que estão separadas por uma distância  $r$ , a força que cada uma exerce sobre a outra tem a direção da linha que passa pelas duas partículas.*

Na expressão,  $G$  é a constante da gravitação universal e seu valor é  $6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ .

Como mostra a Figura 3, uma partícula de massa  $m_2$  atrai uma partícula de massa  $m_1$  com uma força gravitacional  $F$  dirigida para a partícula de massa  $m_2$ . A partícula  $m_1$  atrai a partícula  $m_2$  com uma força gravitacional  $-F$ , dirigida para a partícula  $m_1$ . As forças  $F$  e  $-F$  formam um par de forças ação e reação; elas possuem a mesma direção, sentidos contrários, mas a mesma intensidade (HALLIDAY *et al*, 2001, p. 24-25).

**Figura 3** – Força Gravitacional



Fonte: [http://www.mspc.eng.br/mecn/din\\_grav110.shtml](http://www.mspc.eng.br/mecn/din_grav110.shtml)

Tanto o Sol quanto o planeta experimentam a mesma força, mas o Sol permanece aproximadamente no centro do Sistema Solar porque a massa do Sol é aproximadamente mil vezes o valor da massa de todos os planetas somados.

Compreender a evolução do conceito de gravidade não se trata apenas de apresentar a narrativa histórica e a dedução de equações com seus significados e aplicações, mas sim dar

ao aluno a noção da importância da Lei da Gravitação Universal para nossa cultura. Com isso espera-se a melhoria da receptividade do aluno à linguagem algébrica à medida que ela ganha novos sentidos (BARRETO, 2012, p. 81).

Com base na ênfase proposta pela História da Ciência foi desenvolvida a presente pesquisa de mestrado na perspectiva de municiar o aluno com conhecimentos históricos relevantes para a compreensão dos conceitos de Movimento e Gravidade, os quais fornecem base para a compreensão da Lei da Gravitação Universal, explicitando Como e Porque os corpos se movimentam, a fim de se compreender os movimentos de corpos no contexto da Terra e no contexto Celeste.

Torna-se fundamental, então, colocar o aluno a par desses progressivos conhecimentos, mostrando a eles que a Física com suas Leis e Postulados, não nasceu de um dia para o outro, mas percorreu uma árdua trajetória até nossos dias.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 A PESQUISA QUALITATIVA

De acordo com Moreira (2003, p. 22), pesquisa qualitativa é um termo que tem sido usado alternativamente para designar várias abordagens à pesquisa em ensino, tais como pesquisa etnográfica, participativa observacional, estudo de caso, fenomenológica construtivista, interpretativa, antropológica cognitiva. Cada uma dessas abordagens forma um todo coerente, englobando suposições consistentes sobre natureza humana, sociedade, objeto de estudo e metodologia (JACOB, 1987, p.1). Por compartilhar muitas semelhanças e por questão de simplicidade são comumente chamadas de pesquisa qualitativa.

O presente trabalho buscou uma identificação com tais características, tendo como foco a pesquisa participativa para a inserção da História da Ciência como elemento fundamental no processo de ensino e aprendizagem.

A proposta da sequência didática elaborada no trabalho foi refletir sobre o episódio histórico *A Queda da Maçã*, bem como a evolução dos conceitos de movimento de um corpo e gravidade, os quais foram fundamentais para a formulação da Lei da Gravitação Universal.

#### 3.2 OS SUJEITOS

Os sujeitos dessa pesquisa foram 28 alunos do 1º ano do Ensino Médio Regular, com idades entre 15 e 18 anos, composta por sujeitos de diferentes classes sociais.

#### 3.3 OS INSTRUMENTOS

Foram instrumentos para coleta de dados, mapa mental, questões sobre pesquisa do episódio da queda da maçã, representação pictográfica, questionamentos registrados por meio de gravação de vídeo, elaboração de quadro comparativo, questão sobre cálculo da aceleração centrípeta da Lua e sua relação com a aceleração gravitacional, questões sobre atividade experimental do pêndulo simples e mapa conceitual. Todos esses instrumentos foram utilizados a fim de que o aluno pudesse explicitar um *modelo mental de trabalho*<sup>6</sup> (respostas à

---

<sup>6</sup> Um *modelo mental de trabalho* é o modelo utilizado pelo aluno em cada situação de aprendizagem, isto é, o modelo usado para representar o que o aluno entendeu que seria a solução de um problema ou a explicação de um fenômeno.

perguntas, cálculos, desenhos, mapas conceituais e mentais) que demonstrasse sua compreensão sobre os conceitos abordados durante as aulas, implícitos no episódio.

### 1) *Mapa mental*

Este instrumento foi a primeira atividade da sequência didática. O objetivo foi identificar os conhecimentos prévios dos alunos (Moreira, 2012) acerca dos temas movimento e gravidade.

Esperava-se que o aluno representasse um mapa que envolvesse as ideias de Aristóteles, Galileu Galilei sobre a temática.

Pelo fato de Aristóteles afirmar, no século VI a.C., que os corpos pesados caíam porque tinham de ocupar seu lugar natural, era natural que uma pedra, constituída pelo elemento terra, ao ser largada de uma certa altura, despencasse em direção ao centro da Terra. Já Galileu Galilei chegou à conclusão que, corpos leves ou pesados caem simultaneamente, abandonados de uma mesma altura, atingindo o chão no mesmo instante (POLITO, 2015)<sup>7</sup>.

Foi somente Newton conseguiu que conceber a ideia de gravidade como um agente causal, criou o conceito de força com o advento da Lei da Gravitação Universal, superou a dicotomia imposta pela teoria aristotélica, articulando a natureza de movimento descoberto por Galileu e Descartes, com sua teoria da gravidade (POLITO, 2015, p. 02).

### 2) *Questões sobre pesquisa do episódio da Queda da Maçã*

As questões buscaram conhecer as ideias dos alunos sobre *movimento e gravidade* advindas de pesquisa realizada como tarefa de casa. O objetivo da pesquisa foi motivar os alunos à compreensão do episódio da Queda da Maçã e à reflexão sobre sua veracidade, compreendendo consequentemente as ideias de Newton sobre os referidos conceitos.

A seguir será comentada cada uma das questões:

*a) O que Newton pensava na época em que, supostamente viu a maçã cair (ou quando a maçã caiu sobre sua cabeça)?*

Martins (2006) sugere que Newton estava pensando sobre o magnetismo, comparando a gravidade com a força magnética entre a Terra e os corpos pesados. Newton realmente se interessava pelo magnetismo, porém não fez este tipo de analogia. William Gilbert quem tentou explicar o movimento dos astros e a queda dos corpos através da ideia de forças magnéticas, tendo interpretado a Terra como um grande ímã (MARTINS, 2006, p. 173).

---

<sup>7</sup> POLITO, A. M. M. Galileu, Descartes e uma Breve História do Princípio de Inércia. *Physicae Organum: Revista dos Estudantes de Física da Universidade de Brasília*. 2015. ISSN 2446-564X.

*b) Qual seria sua concepção acerca da gravidade?*

A concepção inicial de Newton acerca da gravidade era de que a mesma poderia ser produzida por um tipo de corrente de éter que viria do espaço em direção à Terra, com grande velocidade, impulsionando os corpos para baixo. O efeito dessa corrente ascendente seria menor, de tal forma que o efeito resultante seria um impulso dos corpos para baixo (MARTINS, 2006, p. 174).

Newton tinha formulado uma tentativa de explicar a ideia de gravidade, no entanto essa explicação foi desenvolvida antes da época em que supostamente teria ocorrido o episódio da Queda da Maçã. Assim este episódio não fez com que Newton descrevesse as causas da gravidade, mas iniciou uma série de associações em sua mente.

*c) Será que foi Newton o primeiro a pensar a respeito da queda dos corpos?*

As origens da ideia de queda dos corpos remetem-se a antiguidade, mais de mil anos antes de Newton. Já se descrevia a queda dos corpos desde os tempos imemoriais, utilizando-se palavras equivalentes a gravidade em vários idiomas. Em latim, essa palavra é escrita como “gravitâs”. Foi dessa palavra latina que saíram as palavras correspondentes em português, francês, inglês e outros idiomas (MARTINS, 2006, p.170).

*d) Qual seria a relação entre o movimento da queda da maçã e o movimento dos corpos celestes?*

Newton havia demonstrado que a força que mantém a Lua em sua órbita é da mesma natureza da força (gravitacional) que acelera uma maçã (ou um corpo qualquer) na superfície da Terra. *Que a lua gravita em torno da Terra, e é sempre retirada de seu movimento retilíneo, e reconduzida a sua órbita pela força da gravidade* (KEMPER, 2007, p 46).

*3) Representação pictográfica*

Este instrumento foi utilizado para obter dados sobre a compreensão dos alunos acerca da veracidade do episódio da *Queda da Maçã* e sua relação com os conceitos de *movimento* e *gravidade*, por meio de desenhos. Essa representação se deu em duas fases, antes e depois da discussão da pesquisa realizada pelos alunos como tarefa de casa.

A pesquisa realizada em casa objetivou instigar o aluno à reflexão sobre o episódio da maçã e a partir daí explicitar um *modelo mental de trabalho* (desenho) que demonstrasse sua compreensão sobre os referidos conceitos, implícitos no episódio.

#### 4) Quadro comparativo

Este instrumento objetivou explicitar as diferenças entre as ideias de Aristóteles, Galileu e Newton na compreensão dos conceitos de *movimento* e *gravidade*, bem como a evolução dos modelos cosmológicos da época vivida pelos três físicos.

Foi utilizado após a leitura de uma adaptação do capítulo IX do livro *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino* intitulada *A maçã de Newton: história, lendas e tolices* (MARTINS, 2006).

O Quadro 1 apresenta as ideias básicas sobre os três filósofos, destacando os aspectos mais importantes e relevantes para se chegar a Lei da Gravitação Universal.

**Quadro 01** - Comparativo das ideias de Aristóteles, Galileu Galilei e Isaac Newton.

ARISTÓTELES	GALILEU	NEWTON
<p>Segundo Aristóteles, havia quatro elementos básicos: terra, água, ar e fogo. A cada um dos elementos corresponderia um lugar natural e um movimento natural: aos corpos pesados, o centro do Universo.</p> <p>Um corpo só poderia se mover, quando se encontrasse fora de seu lugar natural. Portanto, a corpos pesados corresponderia um movimento natural em linha reta para baixo, em direção ao centro do Universo.</p> <p>Quando se encontram em seu lugar natural, os corpos não se movem.</p>	<p>De acordo com Galileu, no vácuo, os movimentos de queda são os mesmos para todos os corpos, independentemente de seu peso e sua forma, quando abandonados simultaneamente.</p> <p>Galileu chegou a esta conclusão notando que a diferença entre o movimento de queda de objetos de pesos e formas diferentes é cada vez menor à medida que esses objetos caem em meios de resistência cada vez menores.</p> <p>Ele estava convencido de que, por mais fluido, suave e tranquilo que fosse o meio, ele se opõe ao movimento com uma resistência que está diretamente relacionada com a velocidade do objeto.</p>	<p>Newton concluiu que a Terra exerce uma atração sobre os objetos que estão sobre sua superfície, e que esta força se estendia até a Lua e produzia a aceleração centrípeta necessária para “reter” a Lua em órbita, e que o mesmo aconteceria com o Sol e os planetas.</p> <p>Foi somente Newton conseguiu que conceber a ideia de gravidade como um agente causal, criou o conceito de força com o advento da lei da gravitação universal, superou a dicotomia imposta pela teoria aristotélica, articulando a natureza de movimento descoberto por Galileu e Descartes, com sua teoria da gravidade.</p> <p>Então Newton formulou a hipótese da existência de uma força de atração universal entre os corpos em qualquer parte do Universo e que tal força varia com o inverso do quadrado da distância (<math>1/r^2</math>): <math>F = G.M.m/d^2</math></p> <p>Newton relata que chegou a esse resultado utilizando as relações matemáticas da velocidade e da força centrípeta no movimento circular uniforme combinado com a Terceira Lei de Kepler.</p>

Fonte: KEMPER (2007), POLITO (2015), SANTOS, DIAS e SOUZA (2004).

5) *Questão sobre cálculo da aceleração centrípeta da Lua e sua relação com a aceleração gravitacional.*

Como já salientado, Newton em 1666 necessitava comparar a aceleração centrípeta de um corpo em rotação junto com a Terra com a aceleração gravitacional. Se a aceleração centrípeta fosse menor do que a gravitacional, os corpos não seriam centrifugados do planeta.

Não satisfeito com a estimativa de Galileu ( $4 \text{ m/s}^2$ ), e por ele talvez desconhecer o resultado de Huygens (a obra de Huygens somente foi publicada em 1673), realizou um experimento para determinar "g".

A máxima aceleração centrífuga sofrida por um corpo na superfície da Terra ocorre no equador, valendo aproximadamente  $3,4 \text{ cm/s}^2$ . Este valor é cerca de 300 vezes menor do que a aceleração gravitacional. Desta forma, Newton conclui que a objeção ao movimento diurno da Terra, baseada na possibilidade de extrusão dos corpos terrestres, é falsa. Posteriormente, a medida de "g" na superfície da Terra foi utilizada por Newton, juntamente com a Lei da Gravitação Universal, para estimar a aceleração que a Lua sofria e compará-la à aceleração centrípeta da Lua (LANG, 1995)<sup>8</sup>.

As questões foram adaptadas do artigo *Uma exposição didática de como Newton apresentou a força gravitacional* (FREIRE JÚNIOR et al, p. 29-30). Os alunos calcularam a aceleração centrípeta da Lua à distância de sua órbita atual.

O objetivo desta atividade foi apresentar de forma acessível ao aluno a demonstração da Proposição IV do livro III dos Principia – Princípios Matemáticos de Filosofia Natural, de Isaac Newton (2010). Neste contexto, incitar o aluno também a compreender que a relação entre força gravitacional e aceleração é tanto maior quanto mais próximo o corpo estiver da superfície terrestre. Ou seja, mostrar por meio de cálculos simplificados a conclusão de Newton acerca da relação existente entre a causa (aceleração) e efeito (força).

6) *Atividade experimental do pêndulo simples.*

O roteiro experimental foi reproduzido baseado nas orientações descritas em [http://www.if.ufrgs.br/~riffel/notas\\_aula/ensino\\_astro/roteiros/Roteiro\\_gravidade.htm](http://www.if.ufrgs.br/~riffel/notas_aula/ensino_astro/roteiros/Roteiro_gravidade.htm).

O objetivo desta atividade foi determinar a aceleração gravitacional g, bem como o cálculo do período T de oscilação de um pêndulo com duas medidas diferentes de comprimento L, apresentando o experimento como atividade alternativa e diferenciada.

7) *Mapa conceitual*

---

<sup>8</sup> LANG, S. L. Determinando a aceleração gravitacional. *Revista de Enseñanza de la Física*. Córdoba, 10(2): 29-35, 1995.

Foi a última atividade da sequência. O objetivo foi motivar a explicitação da evolução das ideias trabalhadas durante a aplicação da sequência, demonstrando a relação entre *movimento* e *gravidade* nas concepções de Aristóteles, Galileu Galilei, culminando com a formulação da Lei da Gravitação Universal de Isaac Newton.

### 3.4 O CONTEXTO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada no segundo bimestre letivo de 2017 em escola estadual da cidade de Italva, RJ.

### 3.5 A PESQUISA

A elaboração do presente trabalho foi estruturada em quatro etapas, a saber: pesquisa bibliográfica, elaboração da sequência didática, aplicação e análise dos resultados. Sendo a pesquisa bibliográfica descrita no capítulo do referencial teórico.

Na segunda etapa foi estruturada a sequência didática, a qual faz parte de um produto educacional, tendo como foco a aprendizagem do aluno. Foram elaboradas atividades com foco na diferenciação e progressão conceitual, princípios norteadores para se alcançar uma aprendizagem significativa (Ausubel, 1968 *apud* MOREIRA, 2012) por meio de uma evolução histórica, culminando na aprendizagem da Lei da Gravitação Universal de Isaac Newton.

O produto educacional elaborado (Apêndice A) trata-se de um material a ser disponibilizado ao professor de Ensino Médio, com vistas a obtenção de uma aprendizagem mais significativa acerca do tema.

A terceira etapa deu-se a aplicação da sequência didática, em sete momentos de aprendizagem.

A quarta e última etapa consistiu na análise dos dados obtidos com a realização das atividades propostas. Tais dados foram categorizados e analisados com base na Teorias da Aprendizagem Significativa (Ausubel, 1968 *apud* MOREIRA, 2012) e dos Modelos Mentais (JOHNSONS-LAIRD, 1983 *apud* MOREIRA, 1996).

O objetivo desta etapa foi verificar a evolução dos modelos mentais que os alunos apresentaram no decorrer da aplicação da sequência didática. Num primeiro momento fez-se um levantamento da evolução apresentada pelos alunos da compreensão do tema, como

manifestação interior do aluno, verbalizações, resoluções de problemas, desenhos efetuados pelos alunos.

Num segundo momento deste processo foram listadas estas dificuldades, verificadas a frequência e agrupadas de forma a estabelecer um processo de categorização. Os modelos mentais explicitados pelos alunos em cada atividade serviram de base para a criação destas categorias.

## 4 DESCRIÇÃO DO PRODUTO

Neste capítulo será apresentada a descrição do Produto Educacional gerado a partir da pesquisa realizada no âmbito do Mestrado Profissional em Ensino de Física, o qual espera-se motivar um ensino mais atrativo sobre o tema Gravitação Universal.

O produto é composto de uma sequência didática constituída de atividades diferenciadas progressivamente e organizada em sete momentos de modo a facilitar a explicitação de modelos mentais, ora considerados como representações da aprendizagem significativa dos alunos sobre o tema proposto.

### 4.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

A sequência didática elaborada propõe o ensino do conteúdo sobre a Gravitação Universal, normalmente ministrado na disciplina de Física do 1º ano do Ensino Médio (EM).

Para uma melhor eficiência da aprendizagem, sugere-se que no bimestre que anteceder a aplicação da sequência sejam abordados conteúdos acerca da natureza da ciência, grandezas e medidas, movimentos, operações com potência de base dez, evolução do conceito de Queda Livre, Movimentos e Leis de Kepler.

O presente material aborda a evolução do conceito de gravidade com ênfase na evolução histórica desde Aristóteles até a formulação da Lei da Gravitação Universal.

Parte-se da discussão sobre o episódio histórico intitulado *A Queda da Maçã*, evoluindo para uma “experiência de pensamento” intitulada *A Queda da Lua*, para a abordagem do conceito de gravidade. Outras estratégias são associadas, como o experimento com materiais de baixo custo, a fim de se obter uma expressiva evidência do argumento newtoniano de ser também de natureza gravitacional, a força centrípeta que age sobre a Lua; vídeos, elaboração de mapas conceituais, representações pictóricas dentre outras.

A seguir serão descritos minuciosamente os sete momentos da sequência didática constituinte do Produto Educacional elaborado. Cada momento perfaz duas horas/aula, utilizadas para a introdução do assunto, discussão/reflexão dos conceitos e a avaliação da aprendizagem.

Também serão descritos os métodos avaliativos utilizados em cada momento de aprendizagem baseados na teoria dos Modelos Mentais de Johnson Laird (1983). Um modelo mental é uma representação interna de informações que corresponde analogamente com

aquilo que está sendo representado (Moreira, 1996). Ou seja, são blocos de construção cognitivos que podem ser combinados e recombinaos conforme necessário.

Ainda de acordo com Moreira (1996), uma forma eficaz de se avaliar um modelo mental é gerar um protocolo verbal, tal como entrevistar o aluno, pedindo que fale livremente, pense em voz alta, descrevam o que estão fazendo enquanto executam uma tarefa (protocolo concorrente). Os modelos mentais de trabalho dos alunos serão nesta pesquisa interpretados como indicadores do conhecimento relacionados à problemática proposta em cada atividade.

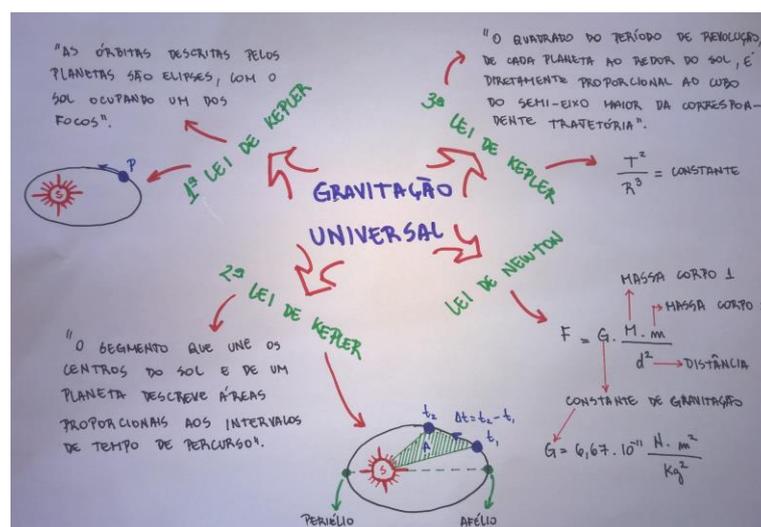
## 4.2 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

### Primeiro Momento (02 aulas) - Identificação dos conhecimentos prévios

Deve-se propor aos alunos a elaboração de um mapa mental que reflita seu conhecimento sobre o conceito de gravidade. Lembrar aos alunos que deverão explicitar nesse mapa seu conhecimento, ou não, sobre as visões de Aristóteles e de Galileu Galilei.

O mapa mental é uma estratégia de aprendizagem que consiste em um processo de organização utilizando-se palavras-chave, ilustrações-chave (pensamento radiante) que desencadeiam lembranças específicas e estimulam novas reflexões e ideias (Buzan, 2009 – p. 10). A Figura 4 ilustra um exemplo de mapa mental.

**Figura 4** – Exemplo de Mapa Mental sobre Gravitação Universal.



Fonte<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Disponível em <<https://descomplica.com.br/blog/fisica/mapa-mental-gravitacao-universal/>>. Acesso em 22/12/17.

Após a elaboração dos mapas mentais, cada aluno deve apresentar seu desenho para o grupo, explicando suas ideias. O professor incentiva a discussão em sala de aula, sem, contudo, corrigir erros, apenas questiona os alunos e dizendo que tais dúvidas serão respondidas durante o curso.

Terminadas as apresentações e discussões, propõe-se a exibição de trecho editado do documentário intitulado *O Universo – Gravidade (History)*<sup>10</sup>.

**Figura 5** – Print de abertura do documentário.



Fonte<sup>10</sup>

O trecho exibido tem a duração de 14 minutos e 11 segundos. A narrativa do documentário será descrita a seguir, sendo também comentadas partes nas quais deverão ser dadas ênfases para as futuras discussões com os alunos.

1ª ênfase: a importância da gravidade para a sobrevivência do universo.

A gravidade é ao mesmo tempo poderosa e frágil, e a humanidade busca canalizar sua força e escapar de seus limites. Ela cria e destrói as estrelas, os planetas, as galáxias e dirige sua montanha russa cósmica. Ela é amiga e inimiga, sem a gravidade a vida como conhecemos terminaria, a Terra literalmente explodiria. A gravidade é a força magnífica e misteriosa que governa o universo, é a força mais dominante do universo, age em escalas monumentais e diminutas em atividades rotineiras e extremas, é usada pelos surfistas como fonte de aceleração para sua prancha de surfe, os esquiadores também a utilizam, praticantes de snowboard precisam dela para pousar.

2ª ênfase: A gravidade age sobre tudo que tem massa

<sup>10</sup> Documentário disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=hEMnT5P2agI>>. Acesso em 20/11/2017.

A gravidade age sobre tudo que tem massa inclusive sobre nós, 24 horas por dia mesmo quando estamos dormindo ou de pé. A gravidade da Terra sempre está nos acelerando em direção ao centro da Terra, a  $10 \text{ m/s}^2$ . Num parque de diversões a gravidade é a força que move a “Montanha Russa” causando muitos gritos pelos seus ocupantes ao agir sobre o vagão (com acúmulo de energia potencial) puxando o mesmo rapidamente para baixo. Todos os objetos com massa ou energia, partículas, pessoas, planetas, estrelas e galáxias produzem gravidade, ela é onipotente e onipresente, a gravidade atrai, governa, distorce, molda, cria e absorve toda matéria e massa no universo. A gravidade é absoluta age em tudo através de distâncias extremamente grandes e nada escapa de sua ação.

3ª ênfase: A força gravitacional é a cola cósmica que liga toda matéria do universo

É a gravidade que mantém o sistema solar unido. A força da gravidade é aquilo que nos segura no planeta e nos impede de sair voando. É a cola cósmica que liga toda matéria do universo. Imagine pegar dois dados e colocá-los perfeitamente em repouso no meio do espaço e separá-los por um centímetro, depois de cerca de uma hora você verá que os dois dados se aproximaram lentamente e se tocaram.

A gravidade criou nosso mundo. O Sol se formou a partir de uma vasta nuvem de gás que se contraiu gravitacionalmente, do mesmo modo a Terra se formou através da atração gravitacional de pequenas partículas, que aos poucos formou um objeto cada vez maior.

Quando se trata da força de atração gravitacional a massa e a distância importam, depende da massa de cada objeto, da quantidade de matéria de cada objeto, é proporcional ao produto das duas massas.

Mas isto não é tudo, a gravidade é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Em outras palavras, quanto maior o objeto mais forte sua atração sobre outros, ou seja, se você dobrar a distância entre dois objetos a atração é apenas um quarto de sua força original.

4ª ênfase: A força gravitacional dá direção ao movimento de toda matéria do universo

A força de atração gravitacional faz com que o movimento de toda matéria no universo tenha uma direção. Existem galáxias inteiras em órbita, e em torno de uma da outra, aglomerados de galáxias que orbitam em torno do seu centro comum de massa.

Mas é o potencial prático de canalizar esta força contínua que fascina os cientistas há séculos. Foi Galileu Galilei astrônomo do século XVII o primeiro a reconhecer a existência da gravidade.

**Figura 6** – *Print* do documentário – gravura de Galileu Galilei.



Fonte<sup>10</sup>

5ª ênfase: a força gravitacional na queda livre dos corpos (Galileu Galilei)

Galileu Galilei descobriu que objetos com pesos diferentes caem à mesma velocidade.

Se pegarmos uma bola de aço e uma de pingue-pongue (ambas do mesmo tamanho) e se soltarmos ambas ao mesmo tempo de qualquer altura, elas chegarão ao chão exatamente ao mesmo tempo, por que caem a mesma velocidade.

Para ilustrar a principal descoberta gravitacional de Galileu Galilei que afirmava que “todos os objetos caem à mesma velocidade”, vamos imaginar que estamos dentro de um parque de diversão, e que o mesmo será o palco de demonstração de queda livre.

Mostrará o que acontece quando um carrinho de montanha-russa cheio de gente e uma bola de tênis caem de uma altura de 126 metros. O carrinho é lançado para o alto de uma torre de 41 andares a 160 Km/h e a gravidade o ajudará nesta jornada.

Imagine que ao atingir o ponto mais alto da montanha russa, a gravidade assume e a queda livre começa. A bola começa a flutuar e os caçadores de aventuras (dentro do carrinho) sentem-se sem peso ou com gravidade zero. Este sentimento é somente uma ilusão, pois os objetos (bola e carrinho) são puxados para a Terra com a mesma velocidade, independentemente de suas massas. As Figuras 7 e 8 representam esse exemplo real da atuação da força da gravidade em objetos em queda livre.

**Figura 7** – *Print* do documentário mostrando uma bola de tênis em queda livre.



Fonte<sup>10</sup>

**Figura 8** – *Print* do documentário mostrando a bola de tênis em queda livre



Fonte<sup>10</sup>

6ª ênfase: a força gravitacional no lançamento de corpos (Newton)

Como lançar uma bola de canhão em órbita?

O famoso físico britânico Sir Isaac Newton viu a maçã cair supostamente sobre sua cabeça(?) e viu a Lua na órbita da Terra, se questionou: não somente a maçã cai em direção a Terra, a Lua também cai (Figuras 9 e 10).

**Figura 9** – *Print* do vídeo mostrando a queda da maçã.



Fonte<sup>10</sup>

**Figura 10** – *Print* do vídeo mostrando semelhanças entre a queda da maçã e o movimento da Lua.



Fonte<sup>10</sup>

Ao observar o movimento da bola de canhão, demonstrou com alguns cálculos que existe uma velocidade suficiente (28000 km/h) para colocá-la em órbita (Figura 11).

**Figura 11** – *Print* do vídeo mostrando o lançamento de um projétil

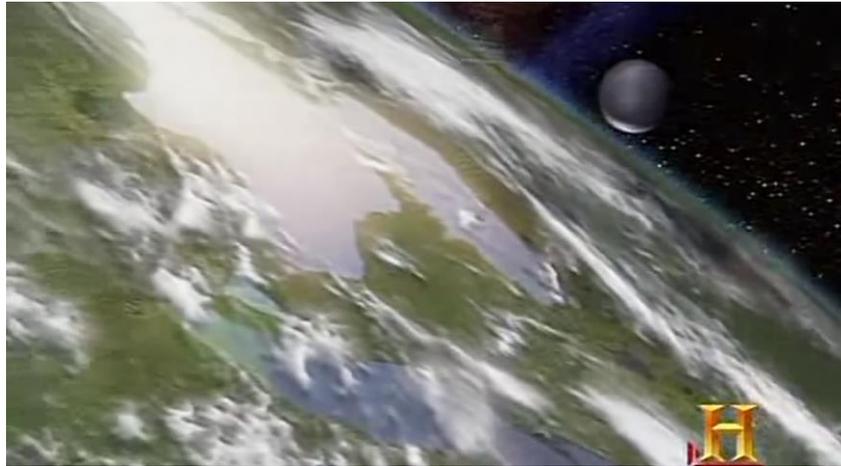


Fonte<sup>10</sup>

Mas por que a Lua não cai sobre a Terra?

Na verdade, a Lua também tem um movimento lateral e para cada pouquinho que cai também se move nessa direção e a soma desses movimentos é a órbita em torno da Terra (Figura 12).

**Figura 12** – *Print* do vídeo da bala de canhão em órbita



Fonte<sup>10</sup>

**Figura 13** – *Print* do vídeo mostrando a Lua em órbita



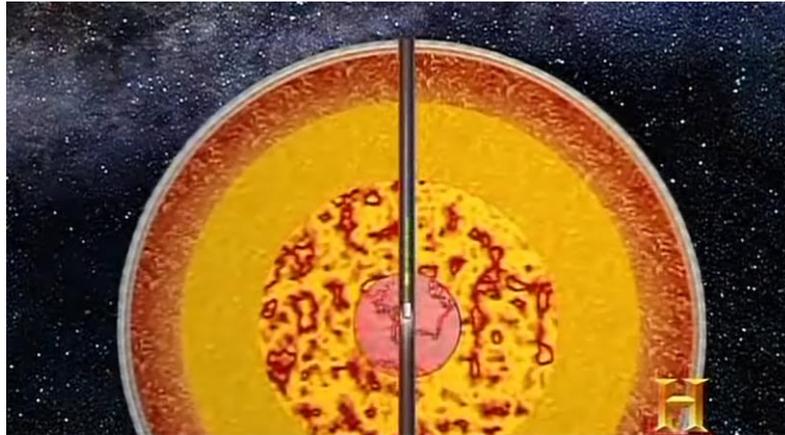
Fonte<sup>10</sup>

7ª ênfase: a força gravitacional terrestre “puxa” toda matéria para o centro da Terra

Newton também compreendeu que a Terra está em queda livre em torno do Sol, com a gravidade forjando o caminho, nosso planeta dá a volta pelo Sol como se fosse uma eterna montanha russa cósmica. Newton desvendou o código da gravidade e os físicos ainda usam suas ideias para resolver todos os tipos de problemas, alguns mais estranhos do que outros.

Por exemplo, o que aconteceria se uma pessoa tentasse atravessar um túnel de um lado a outro do planeta? Nesse caso hipotético seria preciso andar por um túnel reto através da Terra usando apenas a gravidade para impulsionar o viajante pelo chamado “expresso da gravidade”.

**Figura 14** – *Print* do vídeo mostrando um túnel reto pelo interior da Terra



Fonte<sup>10</sup>

7ª ênfase: a força gravitacional terrestre “puxa” toda matéria para o centro da Terra.

Imagine pular dentro de um túnel. Inicialmente a Terra está puxando para baixo, você vai para o centro da Terra, você acelera nessa direção, mas ao passar pelo centro da Terra e começar a ir para o lado oposto, a gravidade da Terra tenta puxá-lo de volta, e aí você desacelera.

A gravidade tem um efeito de retardamento, não há como sair pelo buraco do outro lado da Terra a uma velocidade tremenda e voltar para o espaço. Na verdade, você chegará a superfície da Terra em repouso completo, chegará em 42 minutos. A gravidade leva 42 minutos para transportar alguém entre quaisquer cidades ligadas por um túnel reto.

**Figura 15** – *Print* do vídeo mostrando o túnel reto pelo interior da Terra



Fonte<sup>10</sup>

A viagem de Los Angeles a Paris leva 42 minutos, e se quiser ir de Los Angeles a Tóquio também levaria 42 minutos. Não importa qual o trajeto através da Terra, a viagem sempre levará 42 minutos. A matemática newtoniana explica por que é assim. Se ligarmos Los Angeles a Nova Iorque cavando um túnel é claro que não desceria reto, mas formaria um ângulo. O ângulo desacelera a descida. Mas a distância também é menor e se você fizer as equações os dois efeitos se cancelam e ainda assim leva-se 42 minutos para chegar. Leva 42 minutos não importa o trajeto. É muito bacana!

Terminada a apresentação do vídeo (final da aula), solicita-se aos alunos como tarefa de casa e entrega na próxima aula, uma pesquisa em livros didáticos, enciclopédias, livros de divulgação ou internet, a veracidade ou não do episódio supostamente vivido por Newton e intitulado *A Queda da Maçã*. Objetiva-se que o aluno compreenda não só a veracidade do fato, mas também se familiarize com as discussões sobre o conceito de gravidade.

Segundo Barreto (1995 *apud* MARTINS, 2006, p. 178), “Newton teria observado uma maçã caindo e ocorreu-lhe a ideia de que o mesmo “poder” que fazia com que uma maçã caísse, talvez fosse responsável por reter a Lua presa a Terra, impedindo-a de se afastar.”

Desta forma, objetiva-se que o aluno por meio da pesquisa consiga relacionar a gravidade atuando tanto na maçã caindo, quanto nos astros. As questões a seguir são propostas para orientar a pesquisa dos alunos e as respectivas sugestões de respostas estão contidas no Apêndice A.

- *O que Newton pensou na época em que, supostamente viu a maçã cair (ou quando a maçã caiu sobre sua cabeça)?*
- *Qual era sua concepção acerca da gravidade?*
- *Será que foi Newton o primeiro a pensar a respeito da queda dos corpos?*
- *Você acha que existe relação entre o movimento da queda da maçã e o movimento dos corpos celestes?*

### **Segundo Momento (02 aulas) – representação pictográfica do episódio**

De posse da pesquisa realizada pelos alunos, o professor deve solicitar inicialmente aos alunos que criem uma representação pictográfica (desenho) para demonstrar sua compreensão sobre a pesquisa realizada como tarefa de casa. Neste momento o aluno não deve buscar auxílio na pesquisa realizada. Deve usar apenas suas apreensões sobre o assunto pesquisado.

Nessa atividade, espera-se que o aluno consiga representar o episódio da “Queda da Maçã” supostamente na cabeça de Newton e também da “Queda da Lua” em direção à Terra,

mostrando a força gravitacional agindo nos dois casos. Ademais, espera-se que os alunos consigam mostrar que a maçã (ou um objeto qualquer) e a Lua tem seus movimentos regidos pelas mesmas leis. Corpos celestes não se comportam de outra forma que os terrestres. As leis de Newton têm um sentido universal (Gonick, L e Huffman, A; 1994, p. 26).

Após o término do desenho, o professor deve recolher os desenhos e solicitar que os alunos consultem os dados de suas pesquisas. Após a consulta, o professor indagará os alunos sobre a necessidade ou não de refazerem seus desenhos.

Consultando a atividade de casa, os alunos podem novamente fazer um desenho. O professor deverá avisar que deverão apresentar seus desenhos à turma, por isso devem melhorá-lo.

Dispostos em círculo, os alunos devem expressar suas conclusões baseadas nas ênfases do vídeo exibido na aula anterior, comparando com a pesquisa realizada em casa e expressa sob a forma de desenhos. As questões sugeridas no Primeiro Momento (pesquisa), devem nortear as discussões. Cada desenho elaborado nesta aula representa um *modelo mental de trabalho*. O professor deve auxiliar os alunos no que se refere à comparação dos desenhos antes e depois, a fim de gerar interação por meio de perguntas e ponderações.

**Figura 16** - Exemplo de representação pictográfica sobre a Queda da Maçã e a Queda da Lua.



Fonte<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Disponível em: < <http://newtoneamaca.blogspot.com.br/2010/01/367-anos-de-isaac-newton.html>>. Acesso em 15/01/2018.

### Terceiro Momento (02 aulas) – pseudos-organizadores prévios

Sugere-se aqui a leitura do texto sobre o episódio *Queda da Maçã*, de Isaac Newton, relatado no capítulo IX (p.167-189) do livro *Estudos de História e Filosofia das Ciências*, de autoria de Martins (2006).

O texto será utilizado como um pseudo-organizador prévio. Segundo Moreira (2012, p.11), o organizador prévio pode ser um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. Trata-se de um material apresentado antes do estudo do material de aprendizagem e em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade.

Os organizadores prévios podem ser de dois tipos: *organizador expositivo*, recomendado quando o material de aprendizagem é não familiar – quando o aprendiz não possui subsunçores e, *organizador comparativo*, recomendado quando o material é relativamente familiar e que o ajudará a integrar novos conhecimentos à estrutura cognitiva, discriminando-os de outros componentes já existentes nesta estrutura que são essencialmente diferentes, mas que podem ser confundidos (Moreira).

**Texto: A maçã de Newton: História, Lendas e Tolices**  
(Adaptado de Roberto de Andrade Martins, ANO 2006)

#### **Introdução**

O episódio da queda da maçã teria ocorrido durante a juventude de Isaac Newton (1642-1727). Ele iniciou seus estudos no *Trinity College*, em Cambridge, em 1661. Quatro anos depois obteve o título de “bacharel em artes” e permaneceu em Cambridge, para prosseguir seus estudos. No entanto, no outono de 1665 a Grande Praga atingiu a Inglaterra. A Universidade foi fechada, os alunos se dispersaram e Newton abandonou a cidade, retornando a propriedade rural de Woolsthorpe, onde havia nascido e onde a avó o havia criado. Lá passou quase todo o tempo (18 meses), até a primavera de 1667, quando a peste havia desaparecido e foi possível retornar a Cambridge.

Foi nos dois “anos maravilhosos”, de 1665 a 1667, que Newton iniciou alguns de seus trabalhos científicos mais relevantes de sua vida como “binômio de Newton”, e desenvolveu importantes ideias sobre a gravidade. A anedota sobre a maçã de Newton se refere exatamente ao tempo em que ele passou na fazenda de Woolsthorpe – mais exatamente no ano de 1666. Há várias versões antigas desse suposto acontecimento, que serão descritas a seguir.

### **Houve realmente o episódio da maçã ?**

Newton deixou, ao morrer, uma vasta quantidade de manuscritos. No entanto, jamais foi encontrada qualquer descrição sua a respeito da queda da maçã.

Sabemos, no entanto, que Newton descreveu esse episódio para algumas pessoas, quando já era idoso. Um desses testemunhos foi registrado por William Stukeley, membro da *Royal Society* e amigo pessoal de Newton, que completou em 1752 as “Memórias da vida de Sir Isaac Newton”, que só foram publicadas no século XX. Nesse manuscrito encontramos o seguinte relato referente à visita que Stukeley fizera a Newton em 15 de abril de 1726:

[...] Depois do almoço, como o tempo estava quente, fomos ao jardim e tomamos chá sob a sombra de algumas macieiras, somente ele e eu. Entre outras coisas, disse-me que ele estava exatamente na mesma situação em que, muito tempo atrás, a ideia da gravitação veio à sua mente. “Por que uma maçã deve sempre descer verticalmente ao solo?” pensou ele consigo mesmo, por ocasião da queda de uma maçã enquanto ele estava sentado em uma atitude contemplativa (STUKELEY, ROYAL SOCIETY MS. p. 142, fl. 14 apud MCKIE & BEER, 1951, p 52-53).

A história da maçã foi publicada pela primeira vez por Voltaire, ano da morte de Newton (1727). Voltaire passou alguns anos na Inglaterra, nessa época. Ele se interessava muito pelo pensamento de Newton e o visitou, antes de seu falecimento. Conversou também com Catherine Barton, sobrinha de Newton que cuidava do tio. Catherine lhe contou a história da maçã, que Voltaire publicou em diversas de suas obras.

Outra fonte da história da maçã é John Conduitt, uma pessoa que trabalhava com Newton na Casa da Moeda Inglesa e que, depois, se casou com Catherine. O relato de Conduitt permaneceu manuscrito, como o de Stukeley.

Nenhum desses relatos mais antigos diz que a maçã teria caído na cabeça de Newton, nem que ele estava deitado ou adormecido. Todos concordaram que Newton estaria pensativo no jardim da fazenda de sua mãe em Woolsthorpe, e que a maçã o teria desencadeado uma série de ideias. No entanto, a descrição dessas ideias varia, de uma versão para outra.

Posteriormente, a história da maçã foi sofrendo acréscimos e distorções. Uma versão divulgada por Leonhard Euler, em 1760, descreveu que Newton estava dormindo sob uma macieira e que a maçã caiu na sua cabeça.

### **O que Newton pensou ao ver a maçã cair ?**

A descrição de Conduitt indica que teria ocorrido uma *mudança de concepção*,

quando “surgiu em sua mente que o poder da gravidade (que trouxera uma maçã da árvore ao solo) não estava limitado a uma certa distância da Terra.” Ou seja, Newton (como todos) associava a queda da maçã à gravidade, mas começou a pensar que a gravidade existia não apenas perto da Terra, mas também a grandes distâncias (talvez até a Lua).

Vamos partir da descrição que foi conservada por John Conduitt:

No ano de 1666 ele novamente se retirou de Cambridge [...] para (a fazenda) de sua mãe em Lincolnshire e enquanto estava meditando em um jardim surgiu em sua mente que o poder da gravidade (que trouxera uma maçã da árvore ao solo) não estava limitado a uma certa distância da Terra mas que esse poder deve se estender muito mais longe do que se pensava usualmente. “Por quê não até a altura da Lua?” – disse ele a si próprio – e se assim é, deve influenciar seu movimento e talvez retê-la em sua órbita (CONDUIT, apud WESTFALL, 1990, p 154).

De acordo com a descrição de Conduitt, Newton conjecturou que a gravidade poderia ter um enorme alcance. Essa é exatamente nossa concepção – porém não era algo tão óbvio assim. Os pensadores anteriores a Newton não haviam chegado a essa ideia.

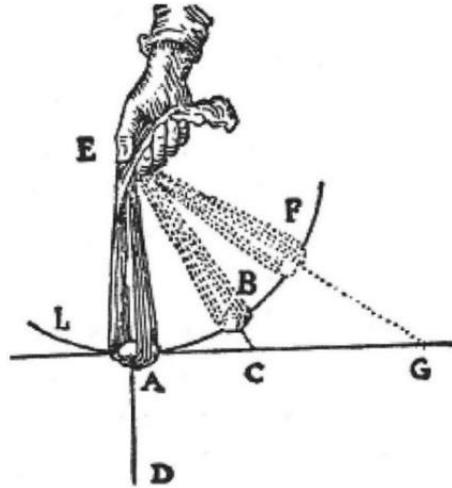
Primeiramente, vamos compreender essa concepção. Se prendermos uma pedra ou qualquer outra coisa pesada a um barbante e fizermos esse objeto girar rapidamente, vamos sentir uma força no cordão. Nós precisamos puxar o cordão para que a pedra gire em torno de nossa mão. Se pararmos de fazer força (por exemplo, largando o cordão), a pedra deixará de ter um movimento circular em torno de sua mão e se afastará, movendo-se inicialmente na direção tangencial.

Para nós (e para Newton), se não existisse nenhuma força agindo sobre a Lua, ela se moveria em linha reta e se afastaria da Terra. Como ela não se afasta, isso indica que há uma força agindo sobre ela, que a mantém presa à Terra. Se a descrição de Conduitt estiver correta, foi naquela ocasião, na fazenda de Woolsthorpe, que Newton percebeu isso.

Há, é claro, um pré-requisito: Newton já precisava aceitar a lei da inércia, ou algo semelhante. Essa ideia havia sido apresentada claramente por Descartes.

Sabemos, pelos cadernos de anotações que Newton mantinha, que antes do período em que se retirou para Woolsthorpe ele leu por conta própria várias obras importantes de Matemática, Astronomia e Filosofia, que lhe deram uma excelente base sobre suas pesquisas posteriores. Ele leu uma tradução inglesa do “Diálogo sobre os maiores sistemas do mundo, Ptolomaico e Copernicano”, de Galileu Galilei, onde se encontra uma boa argumentação mostrando que a Lua e a Terra são de naturezas semelhantes. E foi lendo os *Princípios de Filosofia* de René Descartes que Newton obteve alguns dos pré-requisitos para a ideia que teve ao ver a maçã cair.

**Figura 17** – Mão segurando e girando uma funda onde está uma pedra



Fonte<sup>12</sup>

Na Figura 17 representada na obra de Descartes, uma mão segura e gira uma funda, onde está uma pedra. Se a mão não segurasse a funda, a pedra seguiria em linha reta e se afastaria da mão. O efeito do puxão que é efetuado pela pessoa faz com que a pedra se desvie da reta e siga a trajetória circular. Foi essa ideia que Newton aplicou à Lua.

A Lua não é um corpo diferente da Terra, é da mesma natureza - e portanto, é como uma pedra. Se nada agisse sobre a Lua, ela se moveria em linha reta. Há alguma coisa que a desvia da sua trajetória retilínea e a mantém presa à Terra. Essa "coisa" pode ser a mesma gravidade que faz com que as maçãs caiam.

#### **Atividade avaliativa da aprendizagem**

O texto acima, extraído e adaptado do capítulo IX do livro Estudos de História e Filosofia das Ciências, de autoria de Martins (2006), relata o possível episódio da queda da maçã de Isaac Newton. Após a leitura do texto, **compare as ideias de Aristóteles, Galileu e Newton, apontando as possíveis diferenças entre suas concepções acerca da gravidade.**

Ao final da leitura do texto, os alunos devem preencher um quadro comparativo das ideias de Aristóteles, Galileu e Newton, apontando as possíveis diferenças entre as concepções acerca da gravidade. Os conceitos inseridos no quadro devem ser analisados

<sup>12</sup> Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172015000101602](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172015000101602)>. Acesso em 15/10/2017.



$$v = 2\pi R/T \quad (08)$$

e, substituindo na equação da aceleração,

$$a = v^2/R \quad (09)$$

teríamos:

$$a = \frac{(2\pi R/T)^2}{R} = (2\pi)^2 \cdot (R/T^2). \quad (10)$$

Utilizando a terceira Lei de Kepler,

$$T^2 = K \cdot R^3, \quad (11)$$

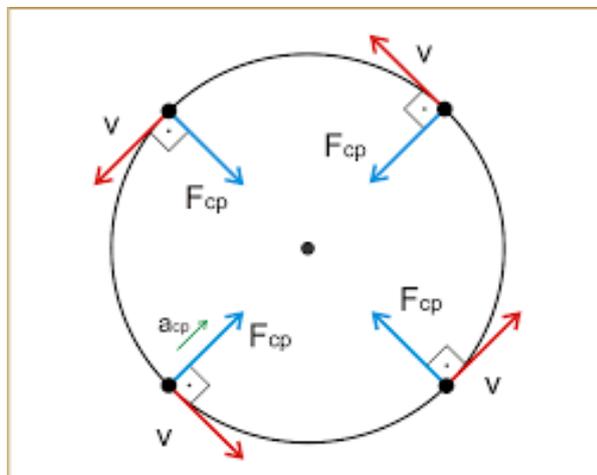
e, substituindo  $T^2$  por  $K \cdot R^3$ , obtemos:

$$a = (2\pi)^2 \cdot (R/KR^3) = (2\pi)^2 \cdot K/R^2 \quad (12)$$

Ou seja, as acelerações dos diversos planetas são inversamente proporcionais aos quadrados das distâncias ao Sol (MARTINS, 2006, p.185).

Partindo desse raciocínio pode-se afirmar que na superfície da Terra esta  $F_c$  sobre a Lua será  $60^2$  vezes maior que na órbita da Lua, uma vez assumida a distância média da Lua à Terra ser de 60 raios terrestres, A Figura 18 exemplifica a  $F_c$ .

**Figura 18** – Força centrípeta e aceleração centrípeta sobre uma partícula em órbita circular.

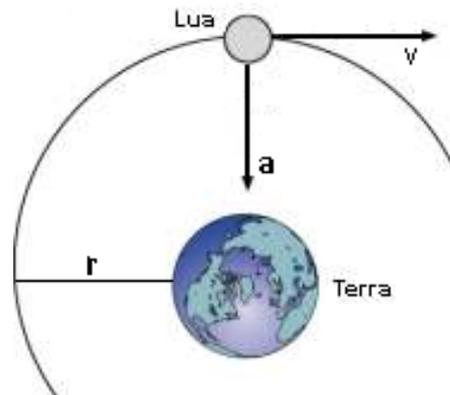


Fonte<sup>13</sup>

1. Inicialmente deve-se calcular a aceleração centrípeta ( $a_{c\text{Lua}}$ ) da Lua à distância de sua órbita atual (60 raios terrestres nas sizíguas), utilizando os dados tabelados. A Figura 19 representa o sistema Terra-lua e os sentidos da velocidade e aceleração.

<sup>13</sup> Disponível em: <<https://descomplica.com.br/blog/tag/forca-centripeta/>>. Acesso em 22/12/17.

**Figura 19** – Sistema Terra-Lua



Fonte<sup>14</sup>

2. Em seguida deve-se observar que Newton não expressou a aceleração da Lua em unidades do sistema MKS. Deve-se transformar os valores das unidades de acordo com os cálculos obtidos por Newton.

3. Imaginando que a Lua caía em direção à Terra compreender que uma força centrípeta capaz de gerar movimentos circulares ou elípticos, e cujos movimentos obedecem 3ª Lei de Kepler, deve ser proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da circunferência.

E que na superfície da Terra esta força sobre a Lua será  $60^2$  vezes maior que na órbita da Lua, uma vez que estamos assumindo a distância média da Lua à Terra ser de 60 raios terrestres. Adotando a proporcionalidade entre força e aceleração, **determine a aceleração da Lua na superfície da Terra.**

**De acordo com os cálculos efetuados, a que conclusão é possível chegar?**

Resolução:

A princípio, vamos calcular a velocidade  $v$  com que a Lua gira em torno da Terra, a partir da equação:

$$v = C/P \quad (13)$$

onde:

$C$  = circunferência da órbita da Lua

$P$  = período de revolução da Lua

<sup>14</sup> Disponível em: <<http://profevertorangel.blogspot.com.br/2013/04/aceleracao-centripeta.html>>. Acesso em 01/01/2018.

Então, temos que:

$$v = 1017,5 \text{ m/s}$$

Agora, calcularemos a **aceleração centrípeta da Lua na altura de sua órbita** pela equação:

$$a_{cp} = v^2/R. \quad (14)$$

Fazendo os cálculos, obtemos:

$$a_{cp} = 0,00271 \text{ m/s}^2.$$

Contudo, Newton não expressou esta medida em unidades do sistema MKS. Ele escreveu que a Lua percorrerá na queda 15 1/12 pés parisienses em 1 minuto (60 s). Utilizando a expressão da distância percorrida por um corpo com aceleração constante a partir do repouso:

$$h = h_0 + v_0.t + at^2/2. \quad (15)$$

Obtemos:

$$h = 0 + 0.60 + 0,00271.(60)^2/2$$

$$h = 4,88 \text{ m.}$$

Considerando que 1 pé parisiense = 0,0,3248m, concluímos que:

$$h = 15,02 \text{ pés parisienses.}$$

Agora vamos imaginar que a Lua caiu na direção da Terra. Como Newton já havia demonstrado, em proposições no Livro III, que uma força centrípeta capaz de gerar movimentos circulares ou elípticos, e cujos movimentos obedecem à Terceira Lei de Kepler, deve ser proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da circunferência, ele pode afirmar que na superfície da Terra esta força sobre a Lua será  $60^2$  vezes maior que na órbita da Lua, uma vez que estamos assumindo a distância média da Lua à Terra ser de 60 raios terrestres.

Adotando a proporcionalidade entre força e aceleração, chegamos à conclusão que a aceleração da Lua na superfície da Terra será igualmente  $60^2$  vezes mais intensa que a aceleração na órbita natural da Lua (FREIRE Jr, 2004, p. 30).

Considerando que  $a_{cp} = 0,00271 \text{ m/s}^2$ , calculamos a **aceleração da Lua na superfície da Terra**, considerando  $F \propto a_{cp}$ , temos que:

$$\mathbf{a = 0,00271.(60)^2 = 9,76 \text{ m/s}^2}$$

e considerando  $t = 1 \text{ s}$  e  $v_0 = 0$ , temos que:

$$h = h_0 + v_0.t + a.t^2/2$$

$$h = 0 + 0.1 + 9,76.(1)^2/2 = 4,88\text{m} \text{ (15,02 pés parisienses)}$$

Os resultados obtidos para a distância de queda da Lua (em 60 s) em sua órbita e na superfície terrestre (em 1s) estão em excelente concordância e comprovam, seguindo um raciocínio parecido daquele seguido por Newton, a validade da Lei da Gravitação Universal, ou seja, **a força que faz a Lua cair na superfície da Terra e aquela que a mantém em sua órbita são de mesma natureza** (KEMPER, 2007, pp. 47-48).

Dados:

**Tabela 1:**

Distância média da Lua à Terra = raio de órbita da Lua. 60 raios terrestres $\rightarrow R = 60r$ .
Período de revolução da Lua $\rightarrow P = 27$ dias 7 horas 43 minutos.
Circunferência da Terra $\rightarrow c = 2\pi r = \pi d \rightarrow d = c/\pi$ , logo, $d = 123249600/\pi \rightarrow d = 39231500$ pés parisienses.
Circunferência da órbita da Lua $\rightarrow C = 2\pi R$ ; $R = 60r$ ; $C = 2\pi(60r) = 60(2\pi r) \rightarrow C = 60c \rightarrow C = 60 \times 123249600 = 7394976000$ pés parisienses.
Diâmetro da órbita da Lua: $D = 60d = 60 \times 39231500$ pés parisienses.
Conversões: 1 pé parisiense = 0,3248 metros 12 “linhas” parisienses = 1 polegada parisiense

**Tabela 2:**

Distância média da Lua à Terra = raio de órbita da Lua (R): aproximadamente 60 raios terrestres:	$R = 60 r = 3,82 \cdot 10^8$ m
Período de revolução da Lua (P)	$P = 27,3$ dias = 2358720 s
Circunferência da Terra (c)	$c = 4 \cdot 10^7$ m
Diâmetro da Terra (d)	$d = 12740000$ m
Circunferência da Órbita da Lua (C)	$C = 2,4 \cdot 10^9$ m
Diâmetro da órbita da Lua (D)	$D = 7,64 \cdot 10^8$ m

### Quinto Momento (02 aulas) – Experimento sobre o pêndulo simples

Provavelmente Newton tenha se apoiado nos trabalhos de Huygens (1629-1695) sobre o experimento do pêndulo, publicados no *Horologium Oscillatorium* em 1673, obtendo a primeira medida confiável para a aceleração da gravidade.

O resultado de Huygens apresentados por Newton pode, então, ser expresso da seguinte maneira: considere que a altura  $d$  que um corpo cai em 1 segundo está para a metade de um comprimento de um pêndulo ( $L/2$ ) de período  $T = 2$  s, assim como o quadrado da circunferência do círculo ( $2\pi r$ ). Então:

$$\frac{d}{L/2} = \frac{(2\pi r)^2}{(2r)^2} = \pi^2 \quad (16)$$

Como Huygens já havia verificado, o comprimento  $L$  de um pêndulo com período  $T = 2$  s é 3,059 pés parisienses, a distância que o corpo cai em 1 s é:

$$d = L\pi^2/2 = 15,0956 \text{ pés parisienses} \quad (17)$$

Comparando os resultados do corpo que cai sob a influência da gravidade na superfície da Terra, com aquele obtido pela força centrípeta da Lua na superfície da Terra (15,0833 pés), nota-se que os valores estão em boa concordância entre si. Com essa demonstração, Newton atinge seu objetivo: a força que mantém a Lua em sua órbita é da mesma natureza da força que acelera um corpo na superfície da Terra (Kemper, 2007, p. 46).

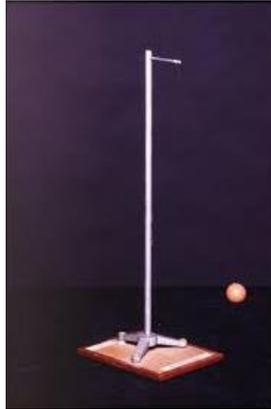
Com o objetivo de facilitar o entendimento, não seguiremos o raciocínio de Newton descrito acima, que estava apoiado nos trabalhos de Huygens, mas utilizaremos a relação direta do período de um pêndulo com o comprimento.

Apesar de ser um experimento muito conhecido, optou-se em utilizá-lo para compor a presente sequência didática, tendo em vista sua relevância para a compreensão do conceito de gravidade exercida sobre corpos localizados próximo a superfície terrestre. Toda atividade foi baseada no trabalho de Freire (2004) intitulado *Uma exposição didática de como Newton apresentou a Força Gravitacional*.

O roteiro experimental (Apêndice A) apresenta a descrição matemática de um objeto suspenso posto a oscilar. A atividade consiste em obter o valor da aceleração da gravidade fazendo-se uso de um pêndulo simples.

Objetiva-se realizar medidas do tempo de oscilação do pêndulo para fins de se calcular o valor da aceleração da gravidade e discutir as conclusões deduzidas desse cálculo, conforme descrito a seguir.

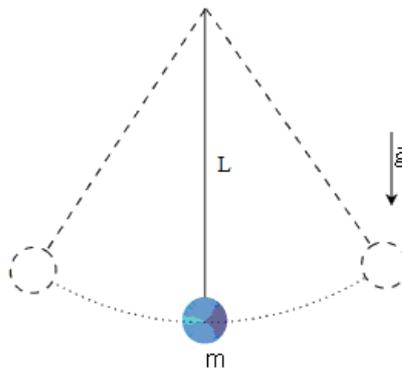
Um pêndulo é um sistema composto por uma massa acoplada a um pivô que permite sua movimentação livremente. A massa fica sujeita à força restauradora causada pela gravidade, conforme Figura 20.

**Figura 20 - Pêndulo simples**

**Fonte:** Disponível em: <http://plato.if.usp.br/2-2004/fap0153d/fotos.html>. Acesso em 22/12/17

Existem vários tipos pêndulos. Estes são descritos como um objeto que permite a fácil previsão de movimentos e que também que possibilitou inúmeros avanços tecnológicos. Dentre eles têm-se pêndulos físicos, de torção, cônicos, de Foucault, duplos, espirais, de Karter e invertidos. O modelo mais simples e de maior utilização é o pêndulo simples.

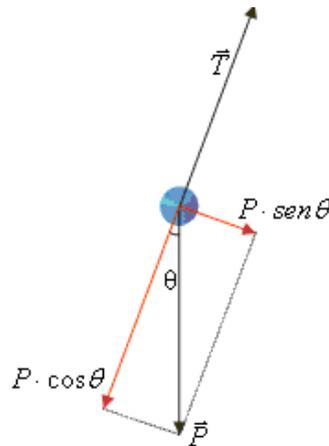
Este pêndulo consiste em uma massa presa a um fio flexível e inextensível por uma de suas extremidades e livre por outra (Figura 21).

**Figura 21 – Oscilação de um pêndulo simples**

**Fonte:** <http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/MHS/pendulo.php>. Acesso em 01/01/2018.

Quando afastamos a massa da posição de repouso e a soltamos, o pêndulo realiza oscilações. Ao desconsiderarmos a resistência do ar, as únicas forças que atuam sobre o pêndulo são a tensão com o fio e o peso da massa  $m$  (Figura 22).

**Figura 22** – Decomposição da força peso em um pêndulo simples



**Fonte:** <http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/MHS/pendulo.php>. Acesso em 01/01/2018.

A componente da força Peso que é dado por  $P \cdot \cos\theta$  se anulará com a força de tensão do fio, sendo assim, a única causa do movimento oscilatório é a  $P \cdot \sin\theta$ . Então:

$$F = P \cdot \sin\theta \quad (18)$$

No entanto, o ângulo  $\theta$ , expresso em radianos que por definição é dado pelo quociente do arco descrito pelo ângulo, que no movimento oscilatório de um pêndulo é  $x$  e o raio de aplicação do mesmo, no caso, dado por  $L$ , assim:

$$\theta = x/L \quad (19)$$

Onde ao substituírmos em  $F$ :

$$F = P \cdot \sin x/L \quad (20)$$

Assim é possível concluir que o movimento de um pêndulo simples não descreve um Movimento Harmônico Simples, já que a força não é proporcional à elongação e sim ao seno dela. No entanto, para ângulos pequenos,  $\theta \geq \pi/8$  rad, o valor do seno do ângulo é aproximadamente igual a este ângulo.

Então, ao considerarmos os casos de pequenos ângulos de oscilação:

$$F = P \cdot \sin x/L \rightarrow F = P \cdot x/L \quad (21)$$

Como  $P = m \cdot g$ , e  $m$ ,  $g$  e  $L$  são constantes neste sistema, podemos considerar que:

$$K = P/L = m.g/L \quad (22)$$

Então, reescrevemos a força restauradora do sistema como:

$$F = K.x \quad (23)$$

Sendo assim, a análise de um pêndulo simples nos mostra que, para pequenas oscilações, um pêndulo simples descreve um Movimento Harmônico Simples.

Como para qualquer MHS, o período é dado por:

$$T = 2\pi.(m/K)^{1/2} \quad (24)$$

e como

$$K = m.g/L \quad (25)$$

Então o período de um pêndulo simples pode ser expresso por:

$$T = 2\pi.(L/g)^{1/2} \quad (26)$$

### **Atividade Experimental**

#### **Procedimentos Experimentais**

Equipamento: 2 fios de NYLON de comprimentos diferente; 1 peso; Cronômetro;

Procedimentos:

A forma de proceder é simples: construa um pêndulo, usando uma linha de NYLON e o peso. Deixe o pêndulo oscilar a partir de um ângulo de 5°, anotando o tempo necessário para que ele o faça 10 vezes. Dividindo-se este tempo por 10, temos o período de oscilação do pêndulo. Repita a experiência com uma linha maior. Depois calcule o valor da aceleração da gravidade de acordo com a fórmula acima.

Pêndulo 1 (comprimento menor):

<i>Comprimento do Pêndulo</i>	<i>0,3 m</i>
Medida 1	
Medida 2	
Medida 3	
Medida 4	
Medida 5	

Pêndulo 2 (comprimento maior):

<i>Comprimento do Pêndulo</i>	<i>0,6 m</i>
Medida 1	
Medida 2	
Medida 3	
Medida 4	
Medida 5	

a) Calcule o período do Pêndulo 1: Some os valores das 5 medidas de período obtidas com cada pêndulo e divida o resultado por 5. Isso resultará em um valor médio (e, por conseguinte, mais preciso) do período de oscilação do pêndulo (lembre-se de que cada "medida", como descrito acima, é o tempo de 10 oscilações dividido por 10, pois será muito difícil medir o tempo para 1 oscilação).

b) Calcule o valor da aceleração da gravidade, segundo o Pêndulo 1, conforme a fórmula deduzida no texto introdutório da aula.

c) Faça o mesmo para o pêndulo 2.

d) Compare o primeiro e o segundo resultados. Porque você acha que isto ocorreu?

### Sexto Momento (02 aulas) - Construção de mapa conceitual

Esse é o momento de finalização da sequência didática, no qual os alunos deverão elaborar individualmente ou em duplas um mapa conceitual, mostrando a evolução de seu conhecimento.

O mapa elaborado deverá conter o conceito de gravidade e sua importância para a compreensão e explicação das causas do movimento dos astros e de corpos próximos à superfície terrestre, unificando a mecânica celeste com a terrestre.

O professor deverá inicialmente explicar como elaborar um mapa conceitual, que são diagramas indicando relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos, relacionando-os e hierarquizando-os (Moreira, 2012 – p. 02).

Na elaboração do mapa conceitual, seguindo um modelo hierárquico, parte-se do conceito mais inclusivo (abrangente) para os específicos, conectando-os com termos de ligação.

Nesta etapa espera-se que o aluno tenha condições de conectar os conceitos físicos que levaram à formulação da Lei da Gravitação Universal através da evolução histórica do conceito de gravidade, mostrando a unificação dos movimentos terrestre e celeste e a compatibilidade de valores de aceleração, relacionando as forças centrípeta e gravitacional.

Partindo das ideias de Aristóteles acerca da queda dos corpos e apontando as possíveis incoerências ao comparar se as ideias de Galileu, espera-se que o aluno estabeleça conexões



**Sétimo Momento (02 aulas) – Avalie a sequência didática**

Sugere-se selecionar alguns alunos para a realização de uma entrevista (em horário extraclasse). Busque avaliar os aspectos positivos e negativos da sequência didática. Nesta etapa espera-se que os alunos entrevistados exponham suas opiniões acerca do produto propriamente dito, apontando possíveis melhorias com base nas perguntas:

- a) Quais foram os pontos positivos desta sequência didática? E os pontos negativos?
- b) Você gostaria de fazer alguma sugestão para a melhoria desta sequência didática?

## 5 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO

A sequência didática foi aplicada no segundo bimestre letivo do ano de 2017 aos alunos da 1ª Série do Ensino Médio Regular, turma 1001 do Ensino Médio Regular do Centro Integrado de Educação Pública (CIEP) Vereador Said Tanus José, localizada no município de Italva-RJ. Essa turma era composta por vinte e oito alunos das mais diversas classes sociais, com idade compreendida dos quinze aos dezoito anos.

Durante o período de aplicação da sequência didática a turma demonstrou interesse em participar do projeto. O conteúdo trabalhado segue o que está previsto no Currículo Mínimo de Física elaborado pela Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro, sendo desenvolvido no bimestre determinado. Os alunos foram informados que participariam de um Projeto de Mestrado do Professor e os responsáveis pelos mesmos assinaram um Termo de Compromisso tendo ciência da participação de seus filhos no projeto.

O projeto aplicado na turma em questão correspondeu a 80% da média final do bimestre. Todo o trabalho foi documentado com questionários, vídeos e foto. O trabalho foi desenvolvido em sua grande parte em sala de aula, a exceção apenas da Atividade 02.

O conjunto de atividades desenvolvidas, com duração de sete semanas, seguiu uma sequência embasada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1968 *apud* MOREIRA, 2012, p. 02), conforme cronograma apresentado no Quadro 03, tendo duração de sete semanas.

**Quadro 03 - Cronograma das atividades**

<b>Data</b>	<b>Nº de aulas de 50 minutos</b>	<b>Forma de registro</b>	<b>Atividade desenvolvida</b>	<b>Espaço de aplicação</b>
26/05/2017	02	Atividade escrita e exibição de vídeo.	Mapa mental preliminar	Sala de aula.
26/05/2017 a 02/06/2017	02	Pesquisa em diversas fontes, atividade escrita e registro da aula em vídeo.	Pesquisa e atividade pictográfica.	Atividade de casa e sala de aula.
09/06/2017	02	Atividade escrita.	Quadro comparativo entre as ideias de Aristóteles, Galileu e Newton.	Sala de aula.
16/06/2017	02	Questionário.	Atividade baseada no artigo do <i>“Uma exposição didática de como Newton apresentou a força gravitacional.</i>	Sala de aula.

23/06/2017	02	Roteiro de experimento.	Atividade experimental do pêndulo simples.	Sala de aula.
30/06/2017	02	Atividade escrita.	Mapa mental final.	Sala de aula.
07/07/2017	02	Questionário.	Questionário de avaliação da proposta didática.	Sala de aula em horário extraclasse.

Fonte: Registro pessoal

Serão descritos os momentos nos quais foram aplicadas as atividades, apresentadas fotos dessa aplicação e figuras das respostas dos cinco alunos que participaram de todas as etapas da sequência didática. O Quadro 04 descreve a frequência das atividades realizadas.

**Quadro 04** – Frequência de realização das atividades da sequência didática

Aluno	Atividade						
	01	02	03	04	05	06	07
01	X	X	X	X	X	X	X
02	X	X	X	X	X	X	X
03	X	X	X	X	X	X	X
04	X	X	X	X	X	X	X
05	X	X	X	X	X	X	X
06		X	X			X	
07	X	X		X		X	
08		X	X	X		X	
09	X	X	X			X	X
10	X	X	X		X	X	
11	X	X		X		X	
12		X	X	X		X	X
13	X	X	X	X		X	
14	X	X	X		X	X	X
15		X	X	X	X		X
16	X	X	X		X		
17	X	X	X			X	X
18	X	X	X	X		X	
19	X		X	X		X	X
20	X	X		X		X	X
21	X		X	X	X	X	
22	X	X	X	X		X	

23		X	X	X		X	X
24		X	X		X	X	
25	X	X	X			X	X
26	X	X	X	X		X	
27	X	X	X		X	X	
28	X	X	X	X		X	

A análise dos dados são referentes às atividades desenvolvidas pelos cinco alunos (identificados com a numeração de 01 a 05). Após os comentários iniciais sobre a aplicação em cada momento, será apresentada a análise das respostas de cada um destes cinco alunos, seguida da imagem relativa a esta resposta.

Apesar da turma ser constituída por 28 alunos, alguns não entregaram suas atividades ou faltaram aula (Quadro 04), porém no decorrer da aplicação, percebeu-se o interesse na realização das tarefas. Para verificar a evolução dos modelos mentais, optou-se por analisar as atividades dos cinco alunos que entregaram todas as atividades, apesar de nos demais ter se verificado uma evolução pontual em cada tarefa realizada, o que sugere que a sequência didática forneceu indícios de aprendizagem significativa.

A análise objetivou:

1º Fazer um levantamento das respostas dos alunos sobre o conteúdo a ser aprendido.

2º Extrair possíveis *modelos mentais de trabalho* dos alunos sobre movimento e gravidade.

3º Enquadrar esses *modelos mentais de trabalho* dos alunos em categorias elaboradas com foco nas maiores dificuldades apresentadas, observadas durante a aplicação da sequência didática.

Categoria 1: Compreensão de que corpos “pesados” chegam primeiro ao chão.

Categoria 2: Só há movimento quando atuar uma força.

Categoria 3: Associação do conceito de gravidade celeste como efeito (Galileu) e não como causa (Newton).

Categoria 4: Associação do conceito de gravidade celeste e terrestre.

4º - Identificar uma possível evolução desses *modelos mentais de trabalho*.

## 5.1 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS MOMENTOS

### **Primeiro Momento (02 aulas) - Identificação dos conhecimentos prévios**

No primeiro momento da sequência didática, os alunos elaboram um mapa mental em dupla com as ideias de Aristóteles e Galileu Galilei acerca do conceito de gravidade. Esta atividade objetivou conhecer as ideias prévias dos alunos sobre esse tema, uma vez terem sido ministradas aulas sobre a abordagem histórica de tais conceitos no bimestre anterior. As Figuras 24 e 25 exemplificam o momento de elaboração dos mapas mentais.

**Figura 24:** registro do 1º momento



**Fonte:** o autor

**Figura 25:** registro do 1º momento

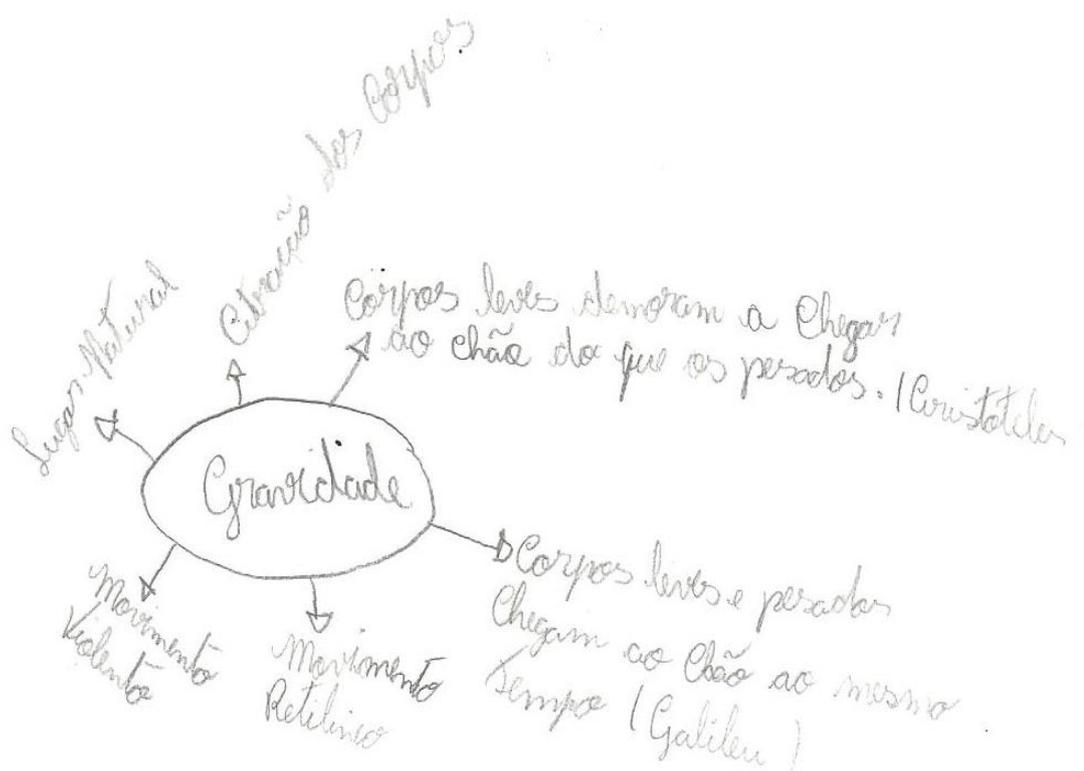


**Fonte:** o autor

Na primeira atividade, o **Aluno 01** elaborou um mapa mental com as ideias de Aristóteles e Galileu acerca do conceito de gravidade. Percebe-se que ele buscou associar as principais ideias apontando subjetivamente as possíveis falhas no pensamento aristotélico,

quando ele relatou que corpos mais pesados chegam primeiro ao chão (Aristóteles) com a ideia de que os corpos chegam ao solo ao mesmo tempo (Galileu Galilei).

**Figura 26 - Mapa mental do Aluno 01**



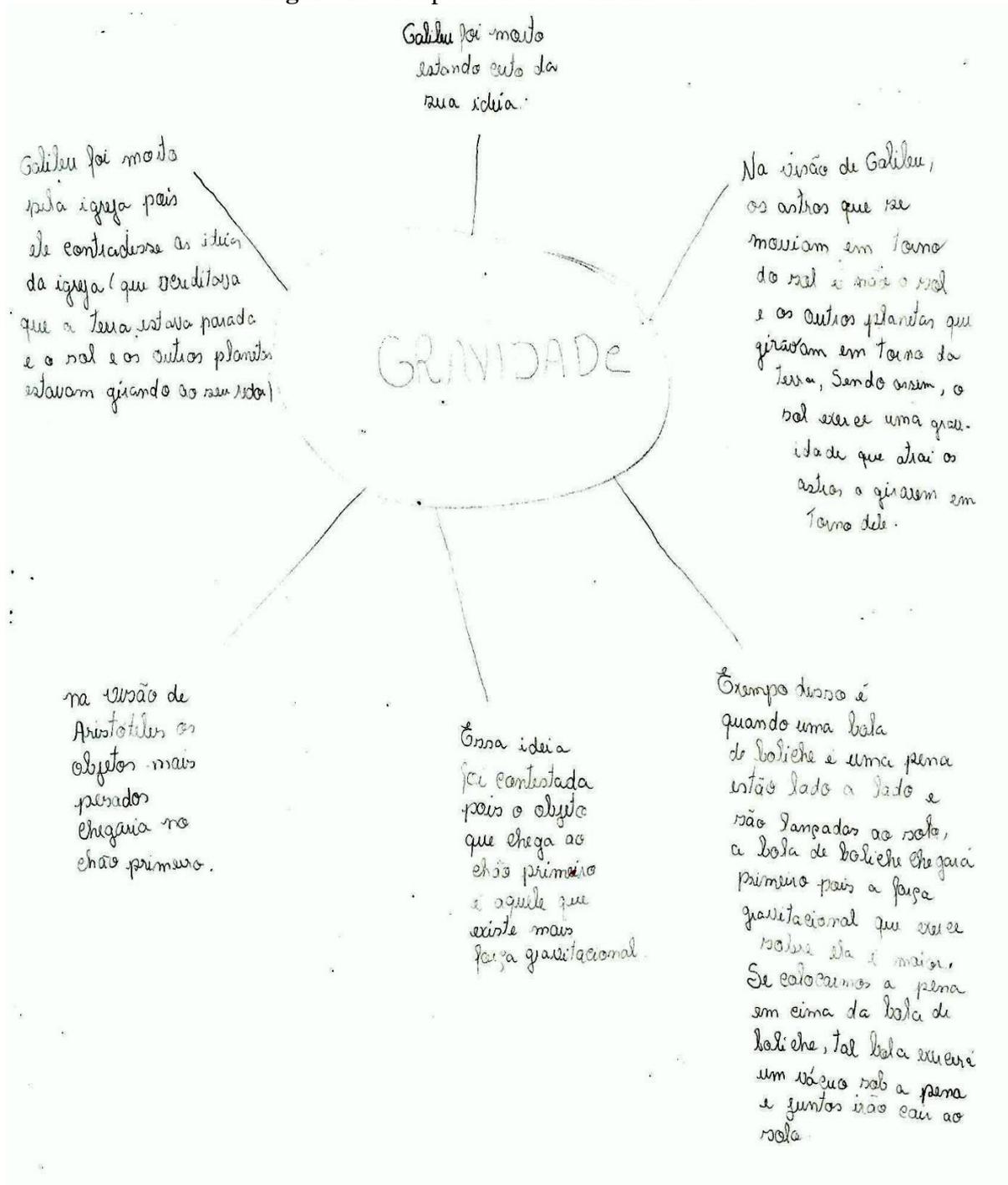
Fonte: o autor

O **Aluno 02** realizou a primeira atividade com a **Aluna 04** (Figura 27). Percebe-se que os alunos abordaram na visão aristotélica a ideia de que corpos mais pesados chegariam ao chão primeiro, definindo implicitamente o conceito de lugar natural.

Ao relatar as ideias de Galileu, os mesmos destacaram seu embate com a Igreja Católica ao defender o Sistema Heliocêntrico. Um ponto negativo que merece destaque foi a inserção equivocada do conceito de força gravitacional supostamente atribuída a Galileu.

Provavelmente este equívoco pode ser relacionado com a experiência da queda livre no vácuo, onde uma bola de boliche e uma pena chegam juntas ao solo. Estas incoerências foram muito debatidas no primeiro bimestre letivo deste ano.

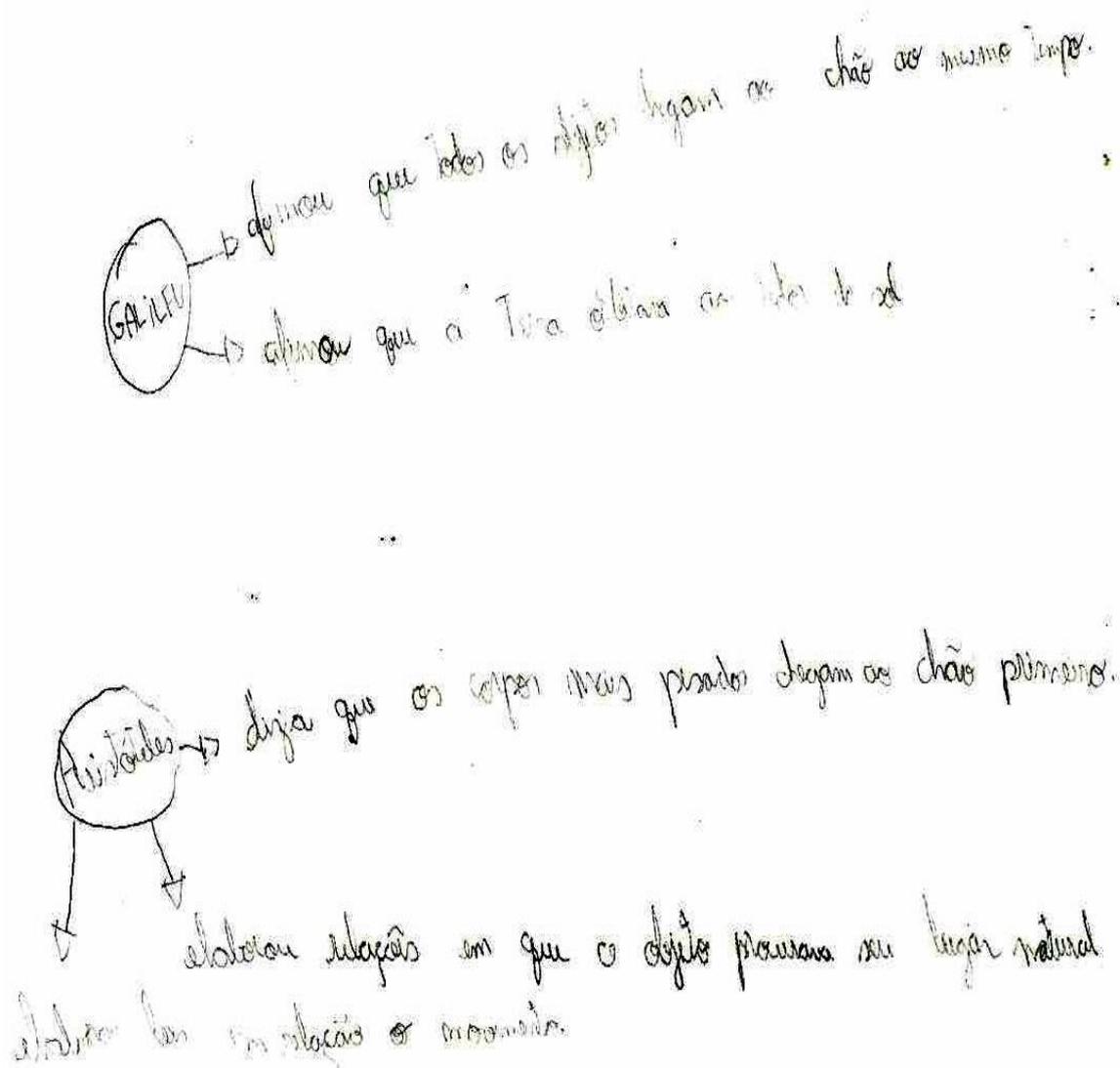
Figura 27 - Mapa mental dos Alunos 02 e 04



Fonte: o autor

O **Aluno 03** (Figura 28) separou as ideias de Aristóteles e Galileu em mapas diferentes. O mesmo foi muito sucinto na construção dos mapas, destacando a ideia equivocada de que Aristóteles teria formulado as leis dos movimentos dos corpos. Nas demais afirmações, percebe-se uma certa concordância com os pontos destacados pelos demais colegas.

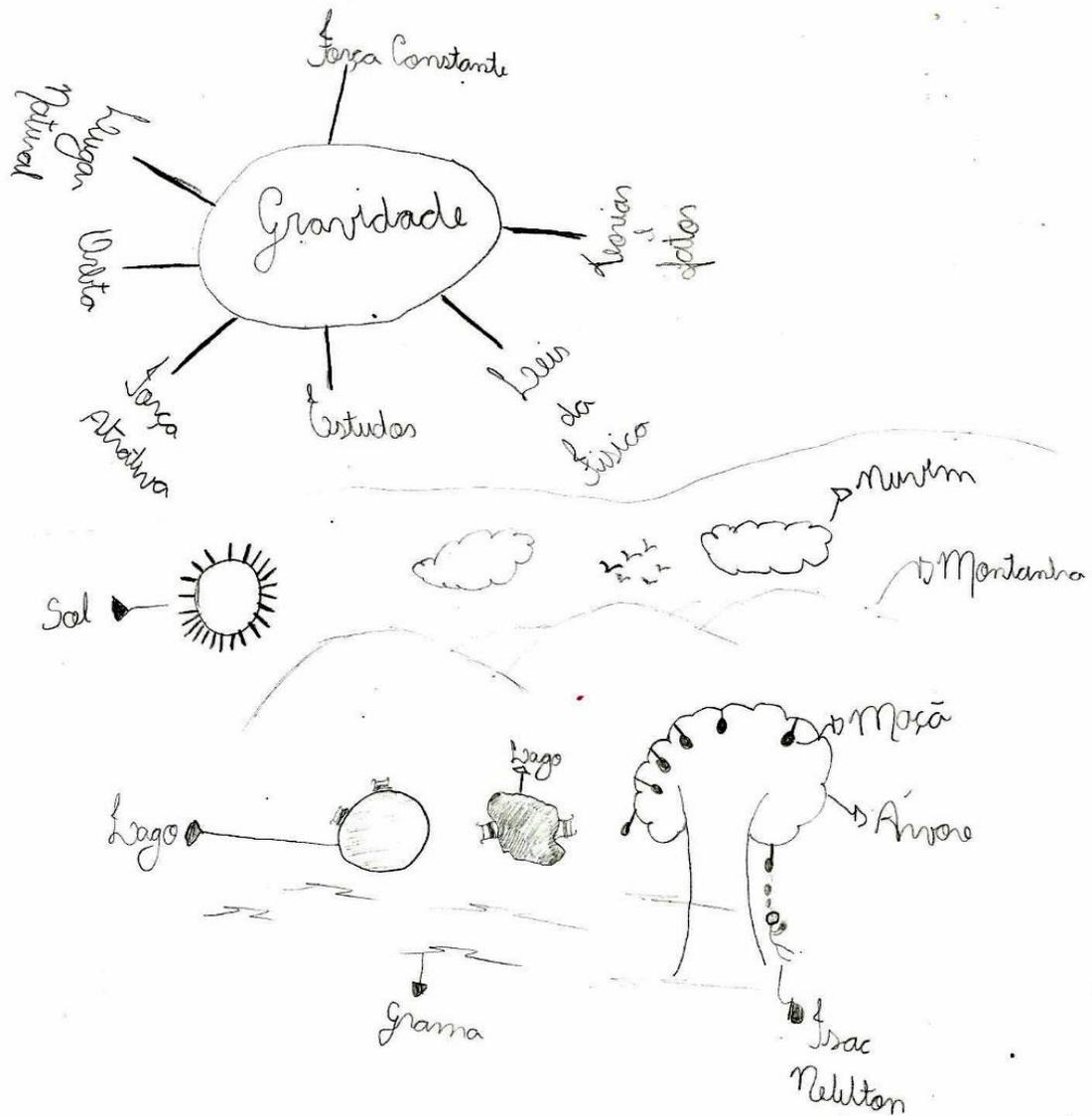
**Figura 28 - Mapa mental do Aluno 03**



Fonte: o autor

O **Aluno 05** (Figura 29) utilizou palavras-chave para realizar as atividades, porém não atribuiu a quem estes conceitos estão relacionados. O conceito de gravidade não foi explorado na sua essência, com as ideias devidamente conectadas.

Figura 29 - Mapa mental do Aluno 05



Fonte: o autor

Além do mapa, o mesmo representou pictograficamente o suposto episódio da queda da maçã de Isaac Newton, ainda que de forma equivocada. Provavelmente este aluno buscava relacionar as ideias de Aristóteles e Galileu com este episódio.

Um detalhe importante que merece destaque é que os alunos desta turma tiveram no bimestre anterior estudado a evolução do conhecimento científico, destacando as principais contribuições de grandes nomes da História da Física, talvez por isto percebe-se que as respostas dadas pelos mesmos obedecem uma certa linearidade.

Terminada a elaboração do mapa mental, os alunos entregaram para a correção do professor. No material elaborado sugere-se que os alunos apresentem seus mapas mentais para a turma, a fim de gerarem uma discussão inicial e recordarem o conteúdo estudado.

Em seguida os alunos assistiram a um trecho do documentário intitulado “*O Universo – Gravidade (History)*”, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=hEMnT5P2agI>. As Figuras 30 e 31 demonstram o momento da apresentação do vídeo aos alunos.

**Figura 30 - Registro do 1º momento**



Fonte: o autor

**Figura 31- Registro do 1º momento**



Fonte: o autor

Ao final da apresentação do vídeo, foram discutidas as ideias que levaram Isaac Newton a desenvolver o conceito de gravidade e a importância dos trabalhos de seus predecessores. Durante a discussão alguns alunos pontuavam suas opiniões.

A partir dessas falas pressupõe-se que tais alunos interpretam o conceito e conseguem estabelecer uma conexão com a queda de um corpo próximo a superfície terrestre e a órbita dos planetas. Eles compreendem que não foi Isaac Newton que “descobriu” a gravidade, mas que o mesmo se apoiou nas ideias de Aristóteles, Galileu, Kepler, dentre outros. Alguns apresentaram conclusões de forma incorreta e imprecisa, porém no decurso da aplicação da sequência didática foi verificada evolução, ficando evidente sua funcionalidade, como pondera Genter e Gentner (1983 *apud* Moreira, 1996, p. 8).

Percebe-se, de acordo com Moreira (1996), que esta atividade foi uma forma eficaz de avaliar o modelo mental dos alunos. Fazendo-os gerar um protocolo verbal, através da exposição livre de suas pesquisas pode-se inferir que os modelos mentais dos alunos foram se modificando à medida que conheciam a evolução do conceito.

Terminada a exibição do vídeo, o professor solicitou aos alunos como tarefa de casa e entrega na próxima aula, um questionário para pesquisa em livros didáticos, enciclopédias, livros de divulgação ou internet, acerca da veracidade do episódio supostamente vivido por Newton e intitulado *A Queda da Maçã*.

### **Segundo Momento (02 aulas) – representação pictográfica do episódio**

Na segunda semana de aplicação da sequência didática, os alunos (sem consultar o material pesquisado) fizeram uma representação pictográfica (Figura 32).

**Figura 32 - Registro do 2º momento**



Fonte: o autor

Após a entrega dos desenhos e de pose das respostas às questões levantadas acerca da pesquisa realizada em casa, os alunos participaram de um debate (Figura 33) acerca da veracidade do episódio *A Queda da Maçã* e pautado nas sete ênfases do vídeo anterior. As questões de casa foram:

*a) O que Newton pensava na época em que, supostamente viu a maçã cair (ou quando a maçã caiu sobre sua cabeça)?*

*b) Qual seria sua concepção acerca da gravidade?*

*c) Será que foi Newton o primeiro a pensar a respeito da queda dos corpos?*

*d) Qual seria a relação entre o movimento da queda da maçã e o movimento dos corpos celestes?*

**Figura 33** - registro do 2º momento



Fonte: o autor

Durante o debate foi solicitado aos alunos consultarem a pesquisa de casa, a fim de refletirem sobre as ênfases propostas no vídeo exibido na aula anterior. A seguir são descritas as verbalizações dos cinco alunos a respeito dessas ênfases, extraído da gravação realizada pelo aluno em destaque da Figura 33.

1ª ênfase: a importância da gravidade para a sobrevivência do universo.

Aluno 01: *A gravidade é importante pois mantém os planetas na órbita do Sol.*

Aluno: 02: *Ela é importante, pois faz com que os corpos não flutuem.*

Aluno 03: *A gravidade pode ser comparada com o magnetismo, que atraem os objetos.*

Aluna 04: *A gravidade puxa os objetos para o chão e faz com que a Lua orbite em torno da Terra.*

Aluno 05: *É importante porque os objetos procuram o seu lugar natural.*

2ª ênfase: A gravidade age sobre tudo que tem massa.

Aluno 01: *A força da gravidade atrai todos os corpos e essa atração depende de sua massa.*

Aluno 02: *Quanto maior a massa de um corpo, maior é a ação da gravidade sobre ele.*

Aluno 03: *Objetos mais pesados são atraídos mais intensamente pela Terra.*

Aluna 04: *A força da gravidade age nos corpos devido a sua massa.*

Aluno 05: *O Sol mantém os planetas em sua órbita porque sua massa é muito grande e com isso a força da gravidade também é maior.*

3ª ênfase: A força gravitacional é a cola cósmica que liga toda matéria do universo

Aluno 01: *Idem a resposta da 2ª ênfase.*

Aluno: 02: *A força da gravidade é a responsável pela formação do universo.*

Aluno 03: *A gravidade faz com que toda a matéria do universo se mantenha ligada.*

Aluna 04: *A força gravitacional é a responsável pela união da matéria do universo.*

Aluno 05: *Idem a 2ª ênfase.*

4ª ênfase: A força gravitacional dá direção ao movimento de toda matéria do universo

Aluno 01: *Idem a resposta da 1ª ênfase*

Aluno: 02: *A força gravitacional é a responsável por manter os planetas em seu movimento em torno do Sol.*

Aluno 03: *Ela faz com que a Lua orbite em torno da Terra e a Terra mantenha seu movimento ao redor do Sol.*

Aluna 04: *Tudo o que existe no universo se movimenta de acordo com a força da gravidade.*

Aluno 05: *O movimento dos astros é regido pela ação da força gravitacional.*

5ª ênfase: a força gravitacional na queda livre dos corpos (Galileu Galilei)

Aluno 01: *Os corpos chegam ao chão ao mesmo tempo porque possuem a mesma aceleração.*

Aluno 02: *Todos os corpos caíam no chão juntos porque tem a mesma aceleração gravitacional.*

Aluno 03: *Os objetos chegavam ao solo ao mesmo tempo porque tinham a mesma velocidade.*

Aluna 04: *Todos os objetos (pesados ou leves) chegavam ao mesmo tempo, pois tinham a mesma velocidade.*

Aluno 05: *Os corpos chegam com a mesma aceleração independentemente do peso.*

6ª ênfase: a força gravitacional no lançamento de corpos (Newton).

Aluno 01: *Para manter um corpo em órbita em torno da Terra é preciso “vencer” a força gravitacional.*

Aluno: 02: *Quanto maior for a velocidade de arremesso de um corpo, mais longe ele alcança, a ponto de colocá-lo em órbita.*

Aluno 03: *Se lançarmos um objeto do ponto mais alto da Terra, dependendo de sua velocidade, podemos fazer com que ele fique orbitando em torno da Terra. Isso se deve a força gravitacional.*

Aluna 04: *Somente é possível colocar um corpo em órbita se conseguirmos equilibrá-lo com a força gravitacional.*

Aluno 05: *Quando um corpo é arremessado próximo a Terra, ele precisa de uma velocidade muito alta para não sofrer os efeitos da gravidade.*

7ª ênfase: a força gravitacional terrestre “puxa” toda matéria para o centro da Terra.

Aluno 01: *Idem a resposta da ênfase 01.*

Aluno 02: *A força da gravidade atrai todos os corpos para a Terra.*

Aluno 03: *Idem a resposta da ênfase 01.*

Aluna 04: *Idem a resposta da ênfase 01.*

Aluno 05: *Idem a resposta da ênfase 01*

Após o debate, os alunos elaboraram uma segunda versão da representação pictográfica. A análise que se seguirá apresentará sequencialmente ambas as representações pictográficas, os comentários sobre esses dados, seguido pela análise das respostas de cada um dos alunos às questões referentes a pesquisa de casa.

Na primeira representação pictórica (Figura 34), o **Aluno 01** demonstra uma ideia bem simplificada do episódio. Já na segunda (ao lado), o aluno insere comentários que remetem às discussões sobre o conceito de gravidade nos contextos terrestre e celeste.

**Figura 34 - Representações pictográficas do Aluno 01**



Fonte: o autor

Na pesquisa realizada em casa, o **Aluno 01** destacou na descrição do episódio da maçã (Questão a), uma conexão do movimento da Lua em torno da Terra.

*a) Quando passeava em um jardim, observou uma maçã caindo de uma árvore, isso o teria feito pensar que, talvez, o “poder” responsável pela queda da maçã atuasse, também, na Lua, de modo que a Lua estaria continuamente “caindo” para a Terra, o que impediria de se afastar.*

Na questão **b)**, o aluno deu uma definição geral acerca da gravidade, expondo sua opinião, quando na verdade a pergunta versa acerca das concepções de Isaac Newton.

*b) É uma força fundamental de atração que age entre todos os objetos por causa de sua massa, isto é, a quantidade de matéria que são constituídos.*

Na questão **c)**, o aluno respondeu que foi Galileu que foi o primeiro a pensar sobre a queda dos corpos. Sua pesquisa limitou-se ao período em que as ideias de Aristóteles foram questionadas por Nicolau Copérnico e Galileu Galilei.

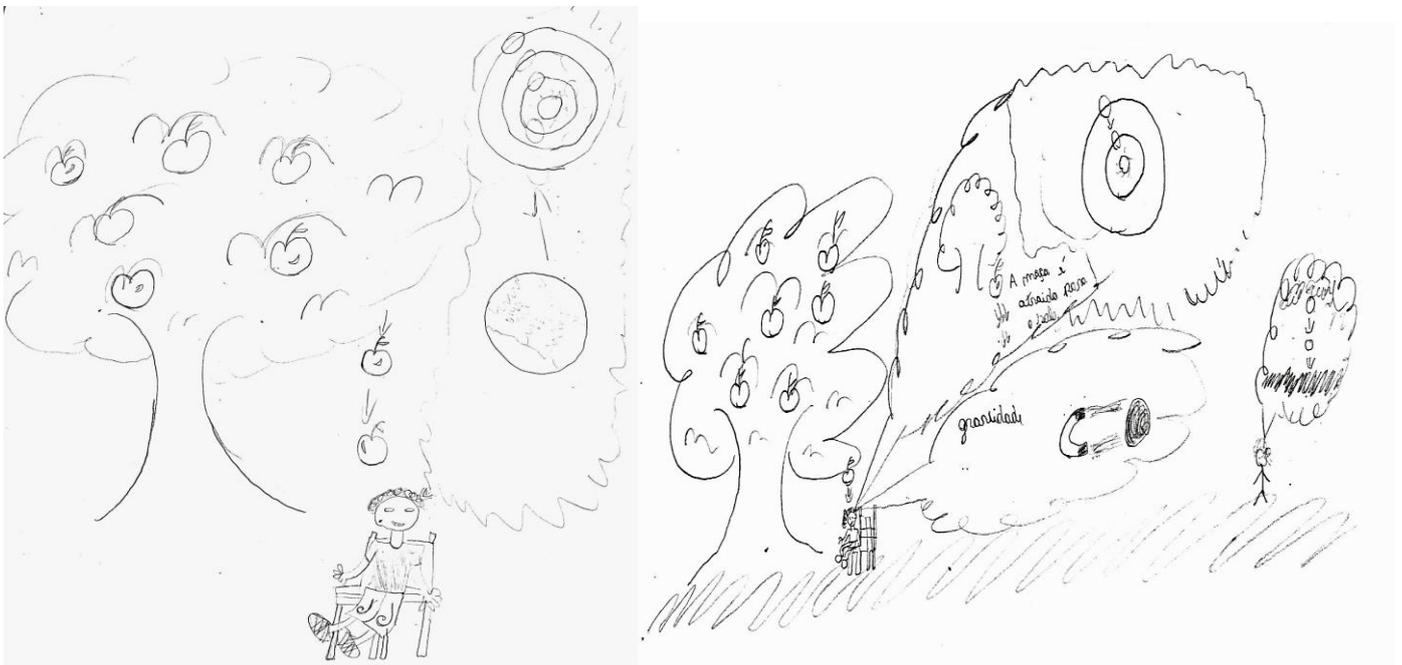
*c) Esta lei foi descoberta por Galileu Galilei, foi revisada por Isaac Newton. Com Albert Einstein foi criada a Teoria Mecânica do Cosmo.*

Na questão **d)**, o aluno foi sucinto na resposta, afirmando que a relação entre a queda da maçã e o movimento dos corpos celestes seria a gravidade, não desenvolvendo sua resposta.

*d) A relação é a gravidade. Todo corpo é atraído para a terra pela gravidade.*

Esperava-se que as representações (Figura 35) do **Aluno 02** refletissem a pesquisa realizada, bem como o debate. Em ambas as situações, o aluno não conseguiu representar corretamente o episódio da queda da maçã. Tanto na primeira quanto na segunda representação pictográfica, este aluno reproduz a queda da maçã na cabeça de Isaac Newton, mesmo após o professor pesquisador debater com a turma acerca da veracidade do episódio.

**Figura 35 - Representações pictográficas do Aluno 02**



Fonte: o autor

Quanto às respostas à pesquisa, percebe-se falta de aprofundamento do **Aluno 02** para a obtenção de respostas mais elaboradas. Observou-se neste caso, respostas imprecisas e desarticuladas.

*a) Newton percebeu que a Terra puxa ou atrai todos os corpos para baixo em direção ao solo.*

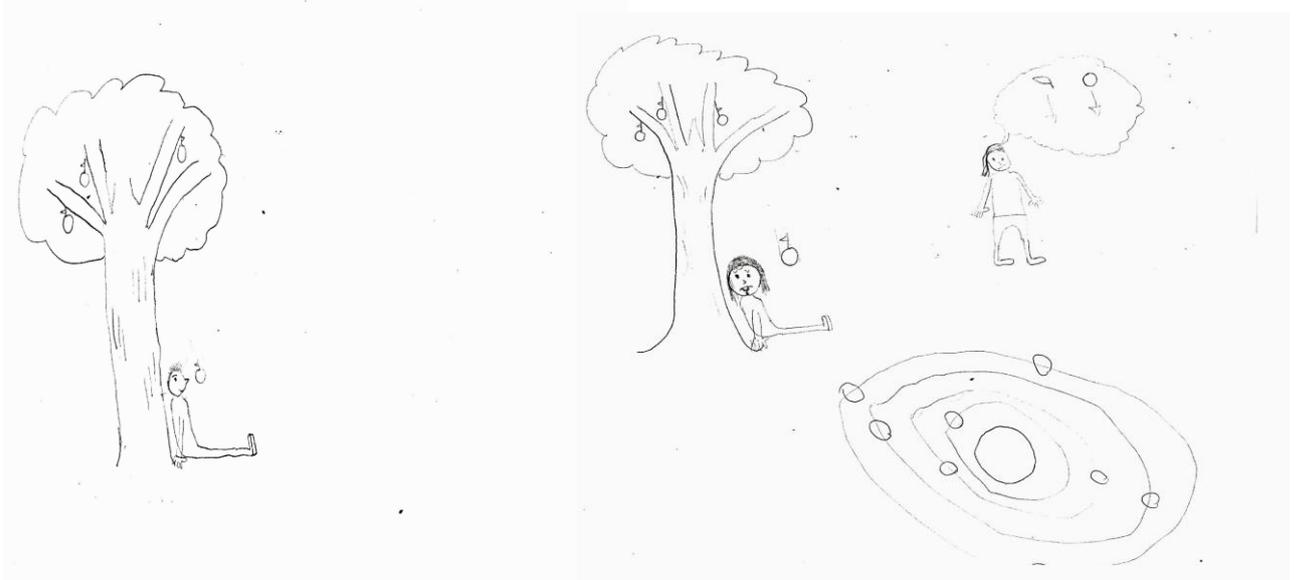
*b) Gravidade é o fenômeno de atração que comanda a movimentação dos objetos.*

*c) Não. Galileu Galilei descobriu a queda dos corpos.*

*d) A relação entre eles é a força da gravidade.*

Nas representações pictográficas (Figura 36) do **Aluno 03**, percebe-se que o mesmo limita-se a descrever a cena da maçã caindo e Isaac Newton contemplando sua queda sentado ao pé da macieira. Já na segunda ilustração, o aluno enriquece com elementos que apresentam situações que envolvem a queda dos corpos e o movimento dos planetas em torno do Sol.

**Figura 36 - Representações pictográficas do Aluno 03**



Fonte: o autor

O **Aluno 03** fez uma pesquisa mais profunda e em suas respostas percebe-se que a inserção de elementos que os demais não destacaram. O fato de Newton associar o conceito e magnetismo com gravidade; creditar a Aristóteles as primeiras ideias sobre a gravidade; além de responder satisfatoriamente à questão c), onde destacou que a Terra puxa ou atrai todos os corpos para baixo.

*a) Newton estava pensando sobre o magnetismo, que comparou à gravidade a uma força magnética entre a Terra e os corpos pesados.*

*b) Newton não descobriu a gravidade, mas percebeu que a Terra puxa ou atrai todos os corpos para baixo em sua direção.*

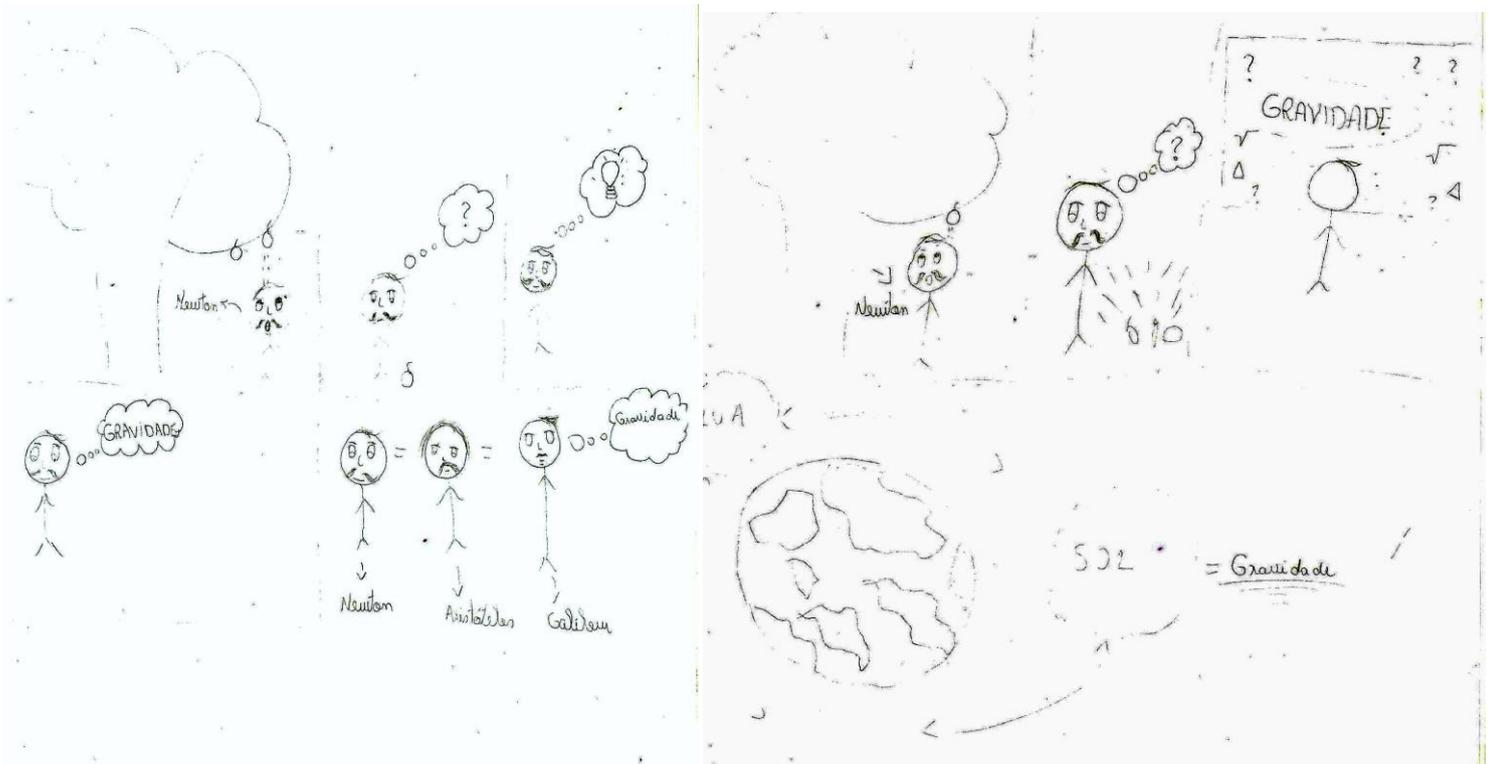
c) Não. Aristóteles já tinha seus pensamentos, relações e teorias sobre esse conceito, como sua ideia de que os corpos mais pesados chegam ao chão primeiro. As leis de Kepler ajudaram na concepção de Newton.

Na questão d), o aluno afirma que a gravidade é o agente responsável, tanto pela queda da maçã, quanto pelo movimento dos corpos celestes, além de seu valor depender da “longitude e altitude” do planeta.

d) A relação é a gravidade! Todo corpo é atraído para a Terra pela gravidade, onde a gravidade muda dependendo da longitude e altitude no planeta Terra, a gravidade é em torno de  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

Nas atividades pictográficas da **Aluna 04** (Figura 37), observa-se que a mesma traz consigo a ideia equivocada da maçã caindo na cabeça de Isaac Newton. Provavelmente em suas pesquisas ela encontrou relatos dessa natureza que culminou com a reprodução nas duas atividades.

**Figura 37 - Representações pictográficas da Aluna 04**



Fonte: o autor

As respostas do questionário da **Aluna 04** apresentam riqueza de detalhes. Na pergunta da letra **a)**, a aluna apresentou a ideia de força atrativa, onde segundo ela, a força exercida pela Terra puxa (atrai) todos os objetos para baixo em sua direção.

*a) Ele pensou que deveria haver alguma razão para a maçã cair no chão e não ir para cima. Assim, ele chegou à conclusão de que existe uma força exercida pela Terra que puxa (atrai) todos os objetos para baixo em sua direção.*

Na questão **b)**, a aluna inseriu o conceito de movimento gravitacional, diferindo do movimento de queda livre. Na questão **c)** a aluna generalizou sua resposta, não destacando nenhum personagem para atribuir a primeira concepção do conceito de gravidade e, na última questão a aluna concorda com os demais colegas acerca das causas dos movimentos de queda da maçã e dos corpos celestes.

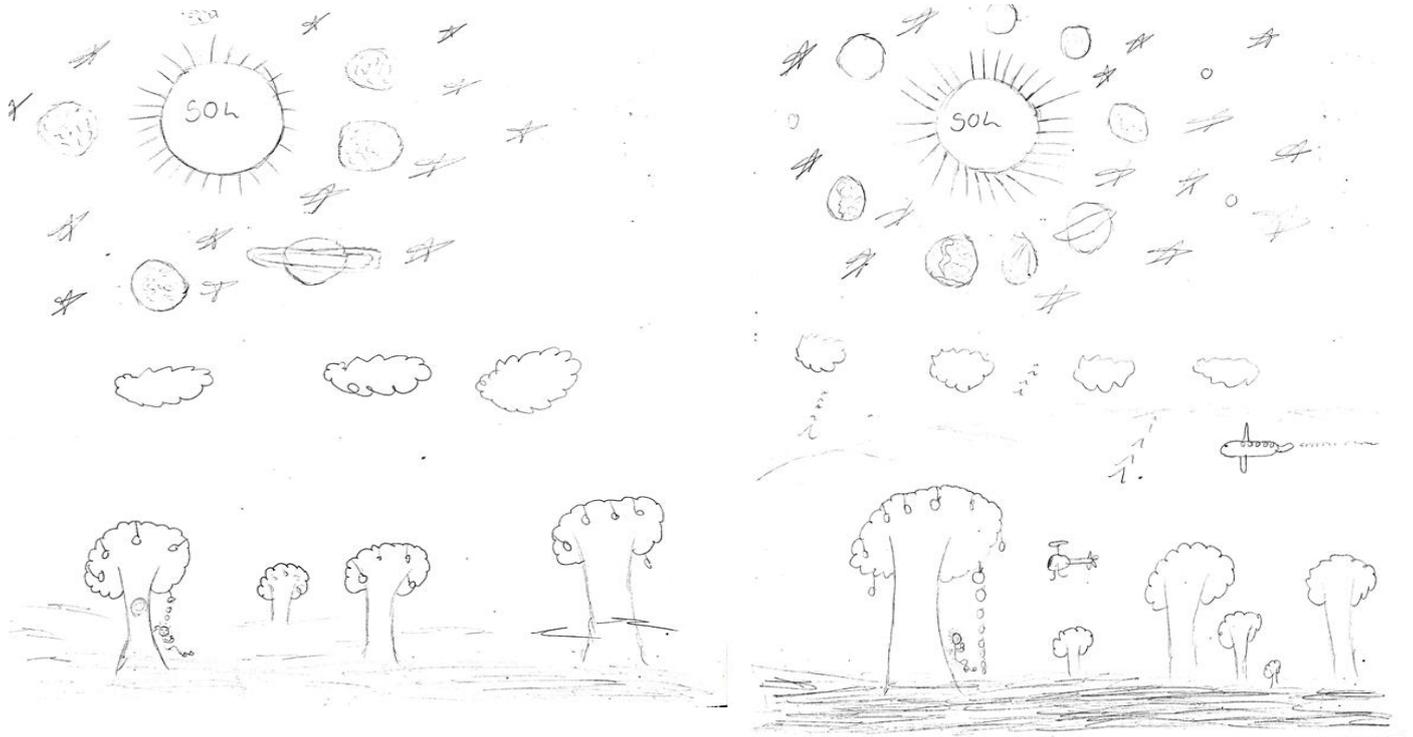
*b) Sua concepção era de que quando se larga uma pedra, a gravidade causa a sua queda para baixo. Essa razão sobre o movimento é descrita como movimento gravitacional. Se não houvesse ação gravitacional, o movimento seria chamado de queda livre. O tempo que o objeto leva para cair do início da queda até o ponto de repouso é chamado de tempo decorrido.*

*c) Muitas pessoas desde a antiguidade já haviam pensado a respeito da queda dos corpos, e que já se falava sobre a gravidade a mais de mil anos antes de Newton. Até se descrevia a queda dos corpos desde os tempos imemoriais.*

*d) A relação entre o movimento da queda da maçã e o movimento dos corpos celestes é a gravidade.*

O **Aluno 05** reproduz a cena da maçã caindo na cabeça de Isaac Newton (Figura 38). Percebe-se que essas ideias ainda são muito difundidas nos meios de comunicação, e com isso o aluno tem a falsa impressão da narrativa histórica do episódio. Na segunda ilustração, após a arguição do professor pesquisador, o aluno modificou o desenho, mostrando evolução em suas ideias.

**Figura 38 - Representações pictográficas do Aluno 05**



Fonte: o autor

Na atividade de pesquisa, o **Aluno 05** reproduziu praticamente a resposta dada pela **Aluna 04** na questão **a)**.

*a) Ele pensava que devia haver uma razão para a maçã cair no chão e não ir para cima. Assim, ele chegou a conclusão de que existe uma força exercida pela Terra que puxa (atrai) todos os objetos em sua direção. Depois ele deu o nome dessa força de gravidade.*

Na questão **b)** o aluno associou o movimento de queda livre ao conceito de gravidade que, segundo o mesmo, Newton não conseguiu explicar, atribuindo os créditos a Albert Einstein.

*b) A gravidade está presente a todo momento. Tudo que vemos na Terra está sujeito aos efeitos da gravidade. Newton associou esse fenômeno ao mesmo que deixa a Lua na órbita da Terra, criando assim o conceito de gravidade. Apesar dele ter explicado que a gravidade existe, ele não soube explicá-lo. Após 200 anos Albert Einstein conseguiu explicar.*

A questão c) narra de forma resumida a lei da inércia, fugindo do propósito da questão. Aqui percebe-se que o aluno buscou associar as ideias de Newton e Galileu, refutando o pensamento aristotélico. A questão da gravidade não foi respondida, prova disto reside no fato de o aluno destacar o movimento retilíneo uniforme, quando na verdade, a gravidade estaria associada ao movimento de queda livre, que seria acelerado.

*c) Não. Newton não só concordou com as conclusões de Galileu como também desenvolveu e formulou 3 leis utilizando as conclusões nestas. Precisamente na sua primeira lei, lei da inércia, ele diz exatamente o mesmo que Galileu, na ausência de forças um corpo em repouso continua em repouso e um corpo em movimento retilíneo uniforme continua em movimento com velocidade constante em linha reta. Assim, tanto Galileu como Newton concordam com as ideias. Concordaram também que Aristóteles não tinha considerado a força de atrito apesar desta existir, provando assim que ele estava errado.*

Na questão d) o aluno cita a Lei da Gravitação Universal para explicar o movimento dos corpos, onde o campo gravitacional seria o “agente” responsável pela força de atração entre os corpos. Estranhamente o aluno cita no final o termo “lugar natural”, remetendo-se às ideias de Aristóteles.

*d) O movimento dos corpos celestes ao redor das estrelas é dado pela Lei da Gravitação Universal, em que o campo gravitacional da estrela atrai os demais corpos celestes. O mesmo ocorre com o satélite planetário. Já como a Terra tem gravidade, os objetos não saem flutuando e sim quando caem procuram seu lugar natural.*

### **Terceiro Momento (02 aulas) – quadro comparativo**

Na terceira atividade os alunos receberam um trecho editado do capítulo IX do livro *Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino* intitulado “A maçã de Newton: história, lendas e tolices (MARTINS, 2006). Após a leitura do texto adaptado os alunos elaboraram um quadro comparativo com as ideias do conceito de gravidade de Aristóteles, Galileu Galilei e Isaac Newton.

**Figura 39** - registro do 3º momento

Fonte: o autor

A atividade 03 consiste em uma leitura de uma adaptação do capítulo IX do livro *Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino* intitulado “A maçã de Newton: história, lendas e tolices. Neste texto, o Professor Roberto de Andrade Martins relata depoimentos de pessoas próximas a Isaac Newton acerca do episódio da queda da maçã. Em seguida os alunos descreveram em um quadro comparativo as ideias de Aristóteles, Galileu e Newton acerca da gravidade. Esta atividade tem como finalidade apresentar a evolução histórica do conceito de gravidade.

Segundo o **Aluno 01** Aristóteles defendeu a ideia de que os objetos buscavam seu lugar natural, ao explicar o motivo pelo qual os objetos mais pesados chegam ao chão primeiro. Já Galileu concluiu que os objetos chegavam ao mesmo tempo no chão na ausência da resistência do ar e, Newton associou a queda dos corpos com a gravidade.

**Quadro 05** – Quadro comparativo do **Aluno 01**

<b>Aristóteles</b>	<b>Galileu Galilei</b>	<b>Isaac Newton</b>
<i>Para Aristóteles, quando o objeto caía, ele encontrava seu lugar natural. Para ele os objetos mais pesados caem primeiro no chão que os mais leves.</i>	<i>Ele disse que os objetos, pesados ou leves caíam no chão ao mesmo tempo, se não houver resistência do ar.</i>	<i>Após supostamente ele ter visto a queda da maçã, ele se perguntou porque ela cai sempre verticalmente. Então ele associou isso com a gravidade.</i>

O **Aluno 02**, ao destacar as ideias de Galileu, relatou que os corpos chegam ao chão com a mesma velocidade devido as suas massas serem iguais. Aqui percebe-se que o aluno cometeu um equívoco, pois os objetos chegam junto ao chão, independentemente de suas

massas. Ao relatar as ideias de Newton, o aluno fez menção a primeira lei e a seguir destacou a influência da gravidade no movimento de queda livre.

**Quadro 06** – Quadro comparativo do **Aluno 02**

<b>Aristóteles</b>	<b>Galileu Galilei</b>	<b>Isaac Newton</b>
<i>Ele falava que cada elemento caía para seu lugar natural. Para Aristóteles, os objetos mais pesados chegavam ao chão primeiro.</i>	<i>Ele falava que a lua e a Terra são de natureza semelhante e que todo corpo caía na mesma velocidade ao chão, porque eles tinham a mesma massa.</i>	<i>Ele falava que se não tivesse nenhuma força agindo sobre a Lua, ela continuava andando em linha reta. Ele também disse que o objeto demora cair ao chão porque a força da gravidade é exercida contra ele.</i>

O **Aluno 03** destaca que as ideias de Aristóteles prevaleceram por muito tempo de que os corpos mais pesados chegavam ao chão primeiro, baseadas nas ideias de movimento perfeito, natural e violento.

Ao relatar as ideias de Galileu, este aluno destacou que as ideias de Aristóteles não estavam completamente corretas. Ele afirmou que se dois objetos fossem abandonados de uma certa altura, no vácuo, eles chegariam ao solo no mesmo instante.

Nas concepções de Newton acerca da gravidade, este aluno destacou o episódio da queda da maçã, contrastando o conceito aristotélico de lugar natural com a força gravitacional de Newton.

**Quadro 07** – Quadro comparativo do **Aluno 03**

<b>Aristóteles</b>	<b>Galileu Galilei</b>	<b>Isaac Newton</b>
<i>Em relação a gravidade, achava que os corpos mais pesados chegavam ao chão primeiro. Essa teoria serviu de base e se estendeu por muito tempo. Também apresentou as teorias do movimento natural, violento</i>	<i>Em relação a gravidade, Galileu achava que a teoria de Aristóteles não estava completamente certa. Ele afirmou que se fosse formado um vácuo (retirar todo o ar de um lugar) e dois objetos de pesos diferentes forem</i>	<i>Em relação a gravidade, Newton teve um grande papel. Ele não descobriu a gravidade, mas teve sua contribuição com a famosa história da maçã, onde Newton supostamente viu uma maçã cair na sua frente,</i>

<i>e perfeito.</i>	<i>soltos ao mesmo tempo, chegariam ao chão no mesmo instante.</i>	<i>fazendo um movimento natural em direção ao chão. Daí Newton descobriu que a maçã não procurou se lugar natural. A maçã foi ao chão porque uma força puxava ela e a mantinha no chão.</i>
--------------------	--	---

A **Aluna 04** ao destacar as ideias de Aristóteles acerca da gravidade, concordou com os demais colegas, dizendo que os corpos mais pesados chegariam ao chão ao mesmo tempo. Já Galileu acreditava que os objetos (pesados ou leves) chegariam ao chão ao mesmo tempo, pois tinham a mesma velocidade.

Ao discorrer acerca das concepções newtonianas, a aluna estabeleceu uma conexão entre o movimento orbital da lua e a queda da maçã ao afirmar que ambos os fenômenos são devidos a força gravitacional.

#### **Quadro 08 – Quadro comparativo da Aluna 04**

<b>Aristóteles</b>	<b>Galileu Galilei</b>	<b>Isaac Newton</b>
<i>Aristóteles achava que todos os objetos caíam no chão, pois o centro da Terra era seu lugar natural, sendo assim, na percepção dele, os objetos mais pesados chegariam primeiro no chão.</i>	<i>Galileu achava que todos os objetos (pesados ou leves) chegariam ao chão ao mesmo tempo, pois tinham a mesma velocidade.</i>	<i>Isaac Newton achava que existia alguma força ou algo que fazia os objetos caírem e uma força que prendia a Lua na Terra, pois se essa força não existisse, a Lua seguiria em linha reta. Newton refletiu sobre tal dúvida quando supostamente uma maçã caiu em sua cabeça e ele quis descobrir o motivo dos objetos caírem, e depois de muito esforço e pesquisa, Isaac Newton descobriu a força gravitacional.</i>

O **Aluno 05** destacou as diferenças entre movimento natural e violento na concepção de Aristóteles. Já nas ideias de Galileu, o aluno enfatizou que os corpos chegavam ao solo com a mesma aceleração.

Ao discorrer acerca da concepção newtoniana sobre a gravidade, o aluno não desenvolveu o raciocínio assim como os demais colegas, somente destacou que Newton não acreditava na concepção aristotélica de lugar natural.

**Quadro 09** – Quadro comparativo do **Aluno 05**

<b>Aristóteles</b>	<b>Galileu Galilei</b>	<b>Isaac Newton</b>
<i>Movimentos naturais: força que a água do rio exerce. Quando algo procura seu lugar natural.</i>	<i>Para ele, os corpos chegavam com a mesma aceleração, independente do peso.</i>	<i>Ele ficou surpreso ao ver a maçã cair, pois ele não achava que as coisas quando caíam procuravam seu lugar natural na Terra</i>

#### **Quarto Momento (02 aulas) – determinação da natureza das forças centrípeta e gravitacional**

No quarto momento, os alunos calcularam a aceleração centrípeta da Lua à distância de sua órbita atual (dados em tabela no Apêndice A). A seguir tentaram determinar a aceleração da Lua na superfície da Terra, adotando a proporcionalidade entre força e aceleração, imaginando que a Lua caiu na direção da Terra.

**Figura 40** - Alunos realizando a atividade do quarto momento



Fonte: o autor

O **Aluno 01** realizou as atividades apresentando clareza na resolução do problema e explicitação das respostas.

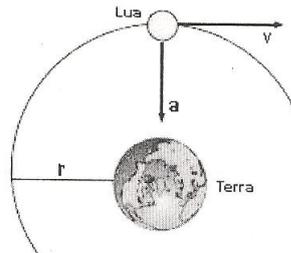
**Figura 41 - Item a) da atividade 04 do Aluno 01**

a) Calcule a aceleração centrípeta da Lua à distância de sua órbita atual (60 raios terrestres nas sizíguas):

$$v = \frac{e}{\Delta t} = \frac{2,4 \times 10^9}{2358720} = 1017,5 \text{ m/s}$$

$$C_{cp} = \frac{v^2}{R} = \frac{(1017,5)^2}{3,82 \times 10^8}$$

$$C_{cp} = 0,00271 \text{ m/s}^2$$



Com 60 segundos

$$h = h_0 + v_0 \cdot t + a \cdot \frac{t^2}{2}$$

$$h = 0 + 0,60 + 0,00271 \cdot \frac{(60)^2}{2}$$

$$h = \frac{9,756}{2} = 4,88 \text{ m}$$

1 pé parisiense = 0,3248

$$h = 4,88 \text{ m} \rightarrow 15,02 \text{ pés parisienses}$$

Fonte: o autor

**Figura 42 - Item b) da atividade 04 do Aluno 01**

b) Nos Princípios, Newton não expressou a aceleração da Lua em unidades do sistema MKS. Levando-se em consideração os cálculos efetuados, os resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Newton? Justifique.

*Sim, pois Newton escreveu que a Lua cairia cerca de 15 pés parisienses em 60 segundos. Este valor está em boa concordância com aquele descrito por Newton nos Princípios.*

Fonte: o autor

**Figura 43 - Item c) da atividade 04 do Aluno 01**

c) Agora vamos imaginar que a Lua caiu na direção da Terra. Como Newton já havia demonstrado, em proposições no Livro I, uma força centrípeta capaz de gerar movimentos circulares ou elípticos, e cujos movimentos obedecem à Terceira Lei de Kepler, deve ser proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da circunferência, ele pode afirmar que na superfície da Terra esta força sobre a Lua será  $60^2$  vezes maior que na órbita da Lua, uma vez que estamos assumindo a distância média da Lua à Terra ser de 60 raios terrestres. Adotando a proporcionalidade entre força e aceleração, determine a aceleração da Lua na superfície da Terra.

De  $\gamma = 60^2$  vezes maior e  $\gamma \propto a$   
então  $a = 0,00271 \cdot 3600$

$$C_{LUA} = 9,76 \text{ m/s}^2$$

$$h = h_0 + v_0 \cdot t + a \cdot \frac{t^2}{2} \text{ para } t = 15'$$

$$h = 0 + 0,1 + 9,76 \cdot \frac{(15)^2}{2}$$

$$h = 4,88 (15,02 \text{ pés parisienses})$$

Fonte: o autor

**Figura 44 – Item d) da atividade 04 do Aluno 01**

d) Analisando as respostas, a que conclusão você chegou?

Os valores obtidos comprovam que a mesma força que mantém a Lua em sua órbita é a mesma que faz os objetos caírem (força de origem gravitacional). Com isso Newton comprovou a validade da Lei da Gravitação Universal.

Fonte: o autor

O **Aluno 02** realizou as atividades de forma satisfatória, mostrando compreensão nos enunciados, desenvolvendo corretamente a resolução das equações e apresentado conclusão coerente.

**Figura 45 - Item a) da atividade 04 do Aluno 02**

a) Calcule a aceleração centrípeta da Lua à distância de sua órbita atual (60 raios terrestres nas

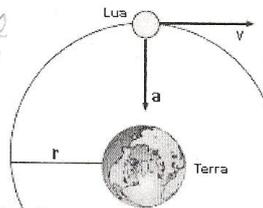
sizígias):

$$v = \frac{C}{\Delta T} = \frac{24 \cdot 10^4}{2358720} = \frac{2400000000}{2358720}$$

$$\rightarrow v = 1017,5 \text{ m/s}$$

$$a_{\text{exp Lua}} = \frac{v^2}{r} = \frac{(1017,5)^2}{382 \cdot 10^8 \text{ m}}$$

$$a_{\text{exp Lua}} = \frac{1035906,25}{382000000} = 0,00271 \text{ m/s}^2$$



$$Em \text{ 1 s, a Lua } = 60 \text{ h}$$

$$h = h_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

$$h = 0 + 0 \cdot 60 + 0,00271 \cdot (60)^2$$

$$h = \frac{9,756}{2} = 4,88 \text{ m}$$

$$1 \text{ m } = 3,248 \text{ m}$$

$$h = 4,88 \text{ m}$$

$$h = \frac{4,88}{0,3248} = 15,02 \text{ pés parisienses}$$

Fonte: o autor

**Figura 46- Item b) da atividade 04 do Aluno 02**

b) Nos Princípios, Newton não expressou a aceleração da Lua em unidades do sistema MKS. Levando-se em consideração os cálculos efetuados, os resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Newton? Justifique. Sim. O resultado obtido está de acordo com aquele descrito por Newton nos "Princípios".

Sim. O resultado obtido está de acordo com aquele descrito por Newton nos "Princípios".

Fonte: o autor

**Figura 47 - Item c) da atividade 04 do Aluno 02**

c) Agora vamos imaginar que a Lua caiu na direção da Terra. Como Newton já havia demonstrado, em proposições no Livro I, uma força centrípeta capaz de gerar movimentos circulares ou elípticos, e cujos movimentos obedecem à Terceira Lei de Kepler, deve ser proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da circunferência. Ele pode afirmar que na superfície da Terra esta força sobre a Lua será 60<sup>2</sup> vezes maior que na órbita da Lua, uma vez que estamos assumindo a distância média da Lua à Terra ser de 60 raios terrestres. Adotando a proporcionalidade entre força e aceleração, determine a aceleração da Lua na superfície da Terra.

Se  $F \propto \frac{1}{r^2}$  é igual a "60 vezes maior", então  $a = 60^2$  vezes maior, visto que  $F \propto a$  então:

$$a = 0,00271 \cdot (60)^2$$

$$a = 0,00271 \cdot 3600$$

$$a = 9,76 \text{ m/s}^2$$

para  $t = 1 \text{ s}$ :

$$h = h_0 + v_0 \cdot t + a \cdot \frac{t^2}{2}$$

$$h = 0 + 0 \cdot 1 + 9,76 \cdot \frac{(1)^2}{2}$$

$$h = \frac{9,76}{2} = 4,88 \text{ m (15,02 pés parisienses)}$$

Fonte: o autor

**Figura 48 – Item d) da atividade 04 do Aluno 02**

d) Analisando as respostas, a que conclusão você chegou?

As resultados demonstraram que a força que mantém a lua em órbita (força centrípeta) é da mesma natureza (gravitacional) que faz um objeto cair. Newton com isso, a validade da lei de gravitação universal.

Fonte: o autor

O **Aluno 03** também desenvolveu a atividade de forma clara, desenvolvendo o raciocínio organizado nas questões envolvendo cálculos e nas questões dissertativas apresentou suas respostas de forma objetiva.

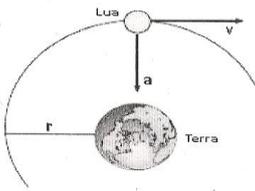
**Figura 49 - Item a) da atividade 05 do Aluno 03**

a) Calcule a aceleração centrípeta da Lua à distância de sua órbita atual (60 raios terrestres nas sizíguas):

$V = \frac{C}{\Delta T}$   $V = \frac{2400000000}{2358720}$   $V = 1.017,5 \text{ m/s}$

$a_{cp} = \frac{V^2}{R}$   $a_{cp} = \frac{(1017,5)^2}{382000000}$

$a_{cp} = 0,00271 \text{ m/s}^2$



$h = h_0 + v_0 \cdot T + \frac{a \cdot T^2}{2}$

Em 60 s, temos:

$$h = 0 + 0 + 0,00271 \cdot \frac{(60)^2}{2}$$

$$h = 4,878 \text{ m}$$

$1 = 0,3248 \text{ m}$   $0,3248x = 4,878$

$x = 4,878 \text{ m}$   $x = \frac{4,878}{0,3248}$   $x = 15,02$

pés parisienses

Fonte: o autor

### Figura 50 - Item b) da questão 04 do Aluno 03

b) Nos Princípios, Newton não expressou a aceleração da Lua em unidades do sistema MKS. Levando-se em consideração os cálculos efetuados, os resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Newton? Justifique.

Sim. Pois Newton escreveu nos Princípios que a lua percorria na queda a distância de cerca de 15 pés por semana em 1 minuto. Com os cálculos efetuados, conclui-se que os resultados concordam com aqueles obtidos por Newton.

Fonte: o autor

### Figura 51 - Item c) da atividade 04 do Aluno 03

c) Agora vamos imaginar que a Lua caiu na direção da Terra. Como Newton já havia demonstrado, em proposições no Livro I, uma força centrípeta capaz de gerar movimentos circulares ou elípticos, e cujos movimentos obedecem à Terceira Lei de Kepler, deve ser proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da circunferência, ele pode afirmar que na superfície da Terra esta força sobre a Lua será  $60^2$  vezes maior que na órbita da Lua, uma vez que estamos assumindo a distância média da Lua à Terra ser de 60 raios terrestres. Adotando a proporcionalidade entre força e aceleração, determine a aceleração da Lua na superfície da Terra.

$$F \propto a \rightarrow a = (60)^2 \cdot 0,00271$$

$$a = 9,756 \text{ m/s}^2$$

$$h = h_0 + v_0 \cdot t + \frac{a t^2}{2}$$

Em 10,7 min:

$$h = 0 + 0 \cdot t + \frac{9,756 \cdot t^2}{2}$$

$$h = 4,878 \text{ m}$$

$$1 = 0,3248 \text{ m}$$

$$x = 4,878 \text{ m}$$

$$0,3248x = 4,878$$

$$x = \frac{4,878}{0,3248} \quad x = 15,02$$

pés por semana.

Fonte: o autor

### Figura 52 - Item d) da atividade 04 do Aluno 03

d) Analisando as respostas, a que conclusão você chegou?

Os resultados obtidos mostram que a força centrípeta (mantém a lua em órbita) é da mesma natureza (gravitacional) que faz um objeto cair, comprovando a validade da lei da gravitação universal de Newton.

Fonte: o autor

A **Aluna 04** conseguiu realizar a atividade com êxito. Observa-se que a mesma conseguiu estabelecer coerência entre os itens e formulou respostas claras.

**Figura 53 - Item a) da atividade 04 da Aluna 04**

a) Calcule a aceleração centrípeta da Lua à distância de sua órbita atual (60 raios terrestres nas sizíguas):

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

$v = \frac{14000000000}{2358220}$

$v = 1017,5 \text{ m/s}$

$a_{\text{plua}} = \frac{v^2}{r} = \frac{1017,5^2}{39200000}$

$a = 0,0027 \text{ m/s}^2$

$h = h_0 + v_0 \cdot t + \frac{at^2}{2}$

$h = 0 + 0 + \frac{0,0027 \cdot 60^2}{2}$

$h = \frac{0,0027 \cdot 3600}{2}$

$h = 9,72$

$h = 4,86 \text{ m}$

Tabela 1:

Distância média da Lua à Terra = raio de órbita da Lua. 60 raios terrestres → R = 60r.
Período de revolução da Lua → P = 27 dias 7 horas 43 minutos.
Circunferência da Terra → c = 2πr = πd → d = c/π, logo, d = 123249600/π → d = 39231500 pés parisienses.
Circunferência da órbita da Lua → C = 2πR; R = 60r; C = 2π(60r) = 60(2πr) → C = 60c → C = 60 x 123249600 = 7394976000 pés parisienses.
Diâmetro da órbita da Lua: D = 60d = 60 x 39231500 pés parisienses.
Conversões:
1 pé parisiense = 0,3248 metros
12 "linhas" parisienses = 1 polegada parisiense

$\Delta p = 0,3248$

$4,86$

$\Delta p h = 0,3248 \cdot 4,86$

$\Delta p h = 15,02 \text{ pés parisienses}$

Fonte: o autor

**Figura 54 - Item b) da atividade 04 da Aluna 04**

b) Nos Princípios, Newton não expressou a aceleração da Lua em unidades do sistema MKS. Levando-se em consideração os cálculos efetuados, os resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Newton? Justifique.

*Sim, pois Newton concluiu que a lua cairia 15,02 pés parisienses em tempo de 1 minuto e o valor obtido está em boa concordância com aquele obtido por Newton.*

Fonte: o autor

**Figura 55 - Item c) da atividade 04 da Aluna 04**

c) Agora vamos imaginar que a Lua caiu na direção da Terra. Como Newton já havia demonstrado, em proposições no Livro I, uma força centrípeta capaz de gerar movimentos circulares ou elípticos, e cujos movimentos obedecem à Terceira Lei de Kepler, deve ser proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da circunferência. Ele pode afirmar que na superfície da Terra esta força sobre a Lua será  $60^2 \cdot 3600$  vezes maior que na órbita da Lua, uma vez que estamos assumindo a distância média da Lua à Terra ser de 60 raios terrestres. Adotando a proporcionalidade entre força e aceleração, determine a aceleração da Lua na superfície da Terra.

$F \propto a$

$a_{\text{lua}} = 0,0027 \cdot 60^2$

$a_{\text{lua}} = 0,0027 \cdot 3600$

$a_{\text{lua}} = 9,72 \text{ m/s}^2$

$h = h_0 + v_0 \cdot t + \frac{at^2}{2}$

$h = 0 + 0 + \frac{at^2}{2}$

$h = \frac{at^2}{2}$

$h = \frac{9,72 \cdot 1}{2}$

$h = \frac{9,72}{2}$

$h = 4,86 \text{ m}$

$\Delta p = 0,3248$

$4,86$

$\Delta p h = 0,3248 \cdot 4,86$

$\Delta p h = 15,02 \text{ pés parisienses}$

Fonte: o autor

**Figura 56 - Item d) da atividade 04 da Aluna 04**

d) Analisando as respostas, a que conclusão você chegou?

*Os resultados obtidos na lua e na superfície da terra são os mesmos, ou seja, a força que age na lua e na terra são de origem gravitacional e sendo assim, comprovou a validade da lei da gravitação universal de Newton.*

Fonte: o autor

O Aluno 05 também conseguiu realizar as atividades satisfatoriamente, interpretando os enunciados, desenvolvendo os cálculos, porém observa-se um equívoco na conversão da unidade de medida metro para pés parisienses. Sua conclusão no item d) demonstrou clareza e compreensão no objetivo da atividade.

**Figura 57 - Item a) da atividade 04 do Aluno 05**

a) Calcule a aceleração centrípeta da Lua à distância de sua órbita atual (60 raios terrestres nas sizíguas):

$v = \frac{c}{\Delta t}$   $v = \frac{2400000000}{2358420} = 1017,5 \text{ m/s}$

$a_{\text{centrípeta}} = \frac{v^2}{r} = \frac{1017,5^2}{392000000} = \frac{1.035.306,25}{392.000.000}$

$a = 0,0026423 \text{ m/s}^2$

*Em minutos (60s)*

$h = h_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$

$h = 0 + 2 \cdot 60 + \frac{0,0026423 \cdot 60^2}{2}$

$h = 120 + 4,7278414$

$h = 124,7278414$

$h = 124,73 \text{ m}$

Distância média da Lua à Terra = raio de órbita da Lua. 60 raios terrestres → R = 60r.
Período de revolução da Lua → P = 27 dias 7 horas 43 minutos.
Circunferência da Terra → $c = 2\pi r = \pi d \rightarrow d = c/\pi$ , logo, $d = 123249600/\pi \rightarrow d = 39231500$ pés parisienses.
Circunferência da órbita da Lua → $C = 2\pi R$ ; $R = 60r$ ; $C = 2\pi(60r) = 60(2\pi r) \rightarrow C = 60c \rightarrow C = 60 \times 123249600 = 7394976000$ pés parisienses.
Diâmetro da órbita da Lua: $D = 60d = 60 \times 39231500$ pés parisienses.
Conversões:
1 pé parisiense = 0,3248 metros
12 "linhas" parisienses = 1 polegada parisiense

Fonte: o autor

**Figura 58 – Item b) da atividade 04 do Aluno 05**

b) Nos Princípios, Newton não expressou a aceleração da Lua em unidades do sistema MKS. Levando-se em consideração os cálculos efetuados, os resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Newton? Justifique.

*Sim, pois Newton escreveu que a lua caiu 15,02 pés parisienses em 1 minuto. O valor calculado obtido está em boa concordância com Newton.*

Fonte: o autor

**Figura 59 - Item c) da atividade 04 do Aluno 05**

e) Agora vamos imaginar que a Lua caiu na direção da Terra. Como Newton já havia demonstrado, em proposições no Livro I, uma força centrípeta capaz de gerar movimentos circulares ou elípticos, e cujos movimentos obedecem à Terceira Lei de Kepler, deve ser proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da circunferência. Ele pode afirmar que na superfície da Terra esta força sobre a Lua será  $60^2$  vezes maior que na órbita da Lua, uma vez que estamos assumindo a distância média da Lua à Terra ser de 60 raios terrestres. Adotando a proporcionalidade entre força e aceleração, determine a aceleração da Lua na superfície da Terra. *Faca*

$$\begin{aligned}
 a_{\text{lua}} &= 0,00271023 \cdot 60^2 \\
 a_{\text{lua}} &= 0,00271023 \cdot 3600 \\
 a_{\text{lua}} &= 9,76 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}
 \quad \left| \quad
 \begin{aligned}
 h &= h_0 + v_0 \cdot t + \frac{at^2}{2} \\
 h &= \frac{9,76}{2} \cdot 1^2 \\
 h &= \frac{9,76}{2} \cdot 1^2 \\
 h &= 4,88 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Fonte: o autor

**Figura 60 – Item d) da atividade 04 do Aluno 05**

d) Analisando as respostas, a que conclusão você chegou?

*Os resultados obtidos são os mesmos, ou seja a força que age na órbita da lua é a mesma que age na superfície da Terra, validando assim a lei da Gravitação universal de Newton.*

Fonte: o autor

### Quinto Momento (02 aulas) – atividade experimental do pêndulo simples

No quinto momento os alunos receberam um roteiro de atividade experimental do pêndulo simples. Nesta atividade, os alunos foram divididos em grupos de quatro integrantes e fizeram medidas da aceleração da gravidade com duas medidas para o comprimento do pêndulo. O professor deduziu a equação que auxiliaria os alunos no cálculo do valor da aceleração da gravidade. Durante a montagem do experimento, os alunos buscaram trabalhar de forma integrada e durante as medidas algumas equipes encontraram valores bastante razoáveis para a aceleração da gravidade.

**Figura 61 - materiais utilizados no experimento**

Fonte: o autor

**Figura 62** - O autor explicando o roteiro do experimento



Fonte: o autor

**Figura 63** - Alunas executando a atividade



Fonte: o autor

**Figura 64** - Alunos executando a atividade



Fonte: o autor

**Figura 65** - Alunos executando a atividade



Fonte: o autor

**Figura 66** - O autor deduzindo a expressão do pêndulo para calcular o valor de **g**



Fonte: o autor

**Figura 67** - Alunos efetuando os cálculos para a obtenção do valor de **g**



Fonte: o autor

**Figura 68** - Alunos efetuando os cálculos para a obtenção do valor de  $g$



Fonte: o autor

As medidas realizadas pelo **Aluno 01** (Figura 69), apresentaram valores coerentes.

**Figura 69** - Atividade 05 do Aluno 01

**Procedimentos Experimentais**

Equipamento:  
 - 2 fios de NYLON de comprimentos diferentes.  
 - 1 peso.

**Procedimentos:**  
 A forma de proceder é simples: construa um pêndulo, usando uma linha de NYLON e o peso. Deixe o pêndulo oscilar, anotando o tempo necessário para que ele o faça 10 vezes. Dividindo-se este tempo por 10, temos o período de oscilação do pêndulo. Repita a experiência com uma linha maior. Depois calcule o valor da aceleração da gravidade de acordo com a fórmula acima.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$(T)^2 = \left(2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}\right)^2$$

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g}$$

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

**Pêndulo 1 (comprimento menor):**

Comprimento do Pêndulo	0,3 m
Medida 1	10,19 S
Medida 2	11,42 S
Medida 3	11,57 S
Medida 4	11,42 S
Medida 5	11,20 S
Média	55,81 / 11,162 / 11,162

$$\begin{array}{r} 10,39 \\ 11,42 \\ + 11,57 \\ 11,43 \\ 11,20 \\ \hline 55,81 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 55,81 / 5 \\ \hline 11,162 \end{array}$$

**Pêndulo 2 (comprimento maior):**

Comprimento do Pêndulo	0,6 m
Medida 1	15,56 S
Medida 2	15,16 S
Medida 3	15,42 S
Medida 4	15,35 S
Medida 5	15,26 S
Média	76,85 / 15,37 / 15,37

$$\begin{array}{r} 15,56 \\ 15,16 \\ 15,42 \\ + 15,35 \\ 15,26 \\ \hline 76,85 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 76,85 / 5 \\ \hline 15,37 \end{array}$$

a) Calcule o período do Pêndulo 1: Some os valores das 5 medidas de período obtidas com cada pêndulo e divida o resultado por 5. Isso resultará em um valor médio (e, por conseguinte, mais preciso) do período de oscilação do pêndulo (lembre-se de que cada "medida", como descrito acima, é o tempo de 10 oscilações dividido por 10, pois será muito difícil medir o tempo para 1 oscilação).

Fonte: o autor

**Figura 70 - Continuação da atividade 05 do Aluno 01**

b) Calcule o valor da aceleração da gravidade, segundo o Pêndulo 1, conforme a fórmula dada acima.

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

$$g = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,3}{1,24590244} \quad g = \frac{11,83152}{1,24590244} \quad g = 9,496 \text{ m/s}^2$$

c) Faça o mesmo para o pêndulo 2.

$$g = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,6}{2,362369} \quad g = \frac{23,66304}{2,362369} \quad g = 10,056$$

d) Compare o primeiro e o segundo resultados. Porque você acha que isto ocorreu?

*A diferença pode ter ocorrido devido ao reflexo na hora de apitar o cronômetro.*

Fonte: o autor

Nas medidas realizadas pelo grupo dos **Alunos 02 e 03**, os resultados obtidos apresentaram coerência, apesar de oscilarem em torno da medida real.

**Figura 71 - Atividade 05 dos Alunos 02 e 03**

Pêndulo 1 (comprimento menor):

Comprimento do Pêndulo	0,3 m
Medida 1	10,46
Medida 2	10,49
Medida 3	10,48
Medida 4	10,43
Medida 5	10,51
Média	10,47

$10,46 + 10,49 + 10,48 + 10,43 + 10,51 = 52,37$   
 $\frac{52,37}{5} = 10,47$

Pêndulo 2 (comprimento maior):

Comprimento do Pêndulo	0,6 m
Medida 1	15,34
Medida 2	15,33
Medida 3	15,18
Medida 4	15,33
Medida 5	15,17
Média	15,27

$15,34 + 15,33 + 15,18 + 15,33 + 15,17 = 76,35$   
 $\frac{76,35}{5} = 15,27$

Fonte: o autor

Figura 72 - Continuação da atividade 05 dos Alunos 02 e 03

b) Calcule o valor da aceleração da gravidade, segundo o Pêndulo 1, conforme a fórmula dada acima.

$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$        $g = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,3}{1,04^2}$        $g = \frac{4 \cdot 9,86 \cdot 0,3}{1,08}$        $g = \frac{11,83}{1,08}$        $g = 10,9 \frac{m}{s^2}$

c) Faça o mesmo para o pêndulo 2.

$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$        $g = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,6}{1,5^2}$        $g = \frac{23,65}{2,24}$        $g = 10,1 \frac{m}{s^2}$

d) Compare o primeiro e o segundo resultados. Porque você acha que isto ocorreu?

Tem pouca diferença mas tem variação devido ao fato de contagem não ser perfeita.

Fonte: o autor

As medidas realizadas pelo grupo da Aluna 04 apresentaram resultados muito acima do esperado, além de não identificar a unidade de medida realizada nas duas situações. A justificativa poderia ser narrada no item d), porém não foi relatada esta incoerência nas medidas.

Figura 73 - Atividade 05 da Aluna 04

$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

$T^2 = (2\pi \sqrt{\frac{l}{g}})^2$        $T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g}$        $T^2 g = 4\pi^2 l$        $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$

Pêndulo 1 (comprimento menor):

Comprimento do Pêndulo	0,3 m
Medida 1	10,13
Medida 2	10,32
Medida 3	10,22
Medida 4	10,25
Medida 5	10,40
Média	$\frac{51,36}{5} = 10,272$

Pêndulo 2 (comprimento maior):

Comprimento do Pêndulo	0,6 m
Medida 1	14,40
Medida 2	14,24
Medida 3	13,25
Medida 4	13,50
Medida 5	13,50
Média	$\frac{69,89}{5} = 13,978$

$g = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,3}{1,0272^2}$        $g = \frac{4 \cdot 9,8596 \cdot 0,3}{1,05513984}$        $g = \frac{11,83152}{1,05513984}$        $g = 11,21$

$g = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,6}{1,3934^2}$        $g = \frac{23,66304}{1,94156556}$        $g = 12,18$

Fonte: o autor

**Figura 74 - Continuação da atividade 05 da Aluna 04**

b) Calcule o valor da aceleração da gravidade, segundo o Pêndulo 1, conforme a fórmula dada acima.

c) Faça o mesmo para o pêndulo 2.

d) Compare o primeiro e o segundo resultados. Porque você acha que isto ocorreu?

O primeiro resultado se adequa ao segundo pois ambos tiveram de achar a gravidade, porém com medidas diferentes.

Fonte: o autor

O Aluno 05 apresentou resultados considerados satisfatórios para as medidas realizadas.

**Figura 75 - Atividade 05 do Aluno 05**

Pêndulo 1 (comprimento menor):

Comprimento do Pêndulo	0,3 m
Medida 1	11,42 / 11,10
Medida 2	11,32
Medida 3	11,20 / 11,1
Medida 4	11,00 / 10,23
Medida 5	11,00 / 10,53
Média	$57,97 \div 5 = 11,19$ $11,19 \div 10 = 1,119$

$$g = \frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2}$$

$$g = \frac{4 \cdot (3,14)^2 \cdot 0,3}{(1,12)^2}$$

$$g = \frac{4 \cdot 9,86 \cdot 0,3}{1,25}$$

$$g = 9,5 \text{ m/s}^2$$

Pêndulo 2 (comprimento maior):

Comprimento do Pêndulo	0,6 m
Medida 1	16,54 / 15,52
Medida 2	15,72 / 15,82
Medida 3	15,91 / 16,09
Medida 4	16,21 / 15,82
Medida 5	15,85 / 15,68
Média	$79,23 \div 5 = 15,85$ $15,85 \div 10 = 1,585$

$$g = \frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2}$$

$$g = \frac{4 \cdot 9,86 \cdot 0,6}{(1,59)^2}$$

$$g = \frac{23,66}{1,59^2}$$

$$g = 9,35 \text{ m/s}^2$$

$$g = \frac{23,66}{2,53}$$

Fonte: o autor

**Figura 76 - Continuação da atividade 05 do Aluno 05**

b) Calcule o valor da aceleração da gravidade, segundo o Pêndulo 1, conforme a fórmula dada acima.

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l}{T^2} \quad g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 0,3}{1,25^2} \quad g = 9,5 \text{ m/s}^2$$

c) Faça o mesmo para o pêndulo 2.

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 0,6}{1,59^2} \quad g = 9,35 \text{ m/s}^2$$

d) Compare o primeiro e o segundo resultados. Porque você acha que isto ocorreu?

Os resultados foram aproximados. Eles não foram iguais pois ocorreram alguns erros, porém os dos resultados foram aproximados com a realidade.

Fonte: o autor

### Sexto Momento (02 aulas) - construção do mapa conceitual

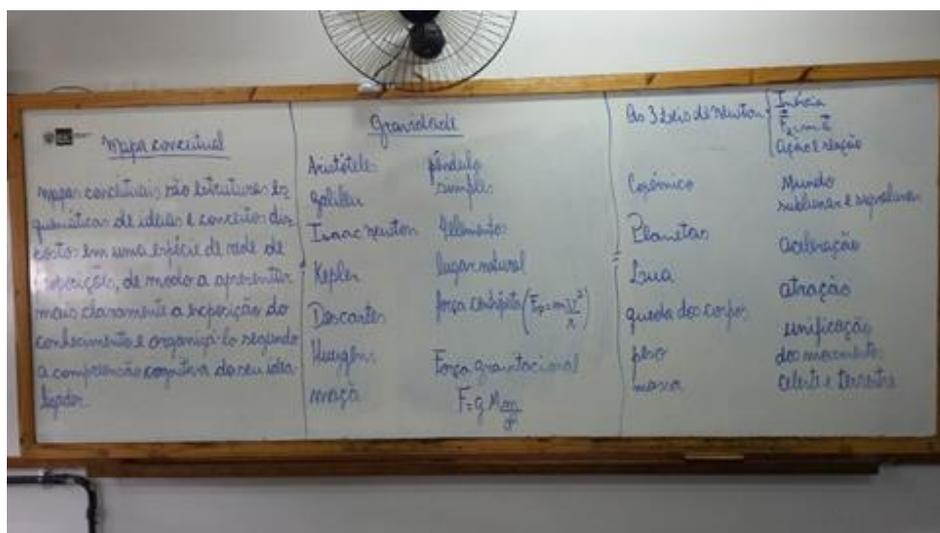
Ao analisar os mapas conceituais levou-se em consideração os princípios da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa relativos à teoria da aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1980).

Sabe-se que a *diferenciação progressiva*, as ideias mais gerais e inclusivas do conteúdo são apresentadas no início da instrução e, então, progressivamente diferenciadas em termos de detalhes e especificidades (MOREIRA, 2013, p. 12).

Ao introduzir uma nova reflexão sempre se preocupava em retomar o conteúdo anterior. Este retorno remete ao princípio da *reconciliação integrativa*, que segundo Ausubel (1980 *apud* Moreira, 2013), explora relações, apontando diferenças, semelhanças procurando reconciliar inconsistências reais ou aparentes.

Na introdução da atividade, o professor pesquisador apresentou o conceito de mapa conceitual e os alunos elencaram as palavras-chave ligadas ao conceito de gravidade. Nesta etapa os alunos procuraram conectar os conceitos físicos que levaram à formulação da Lei da Gravitação Universal.

**Figura 77** - Introdução à atividade do mapa conceitual



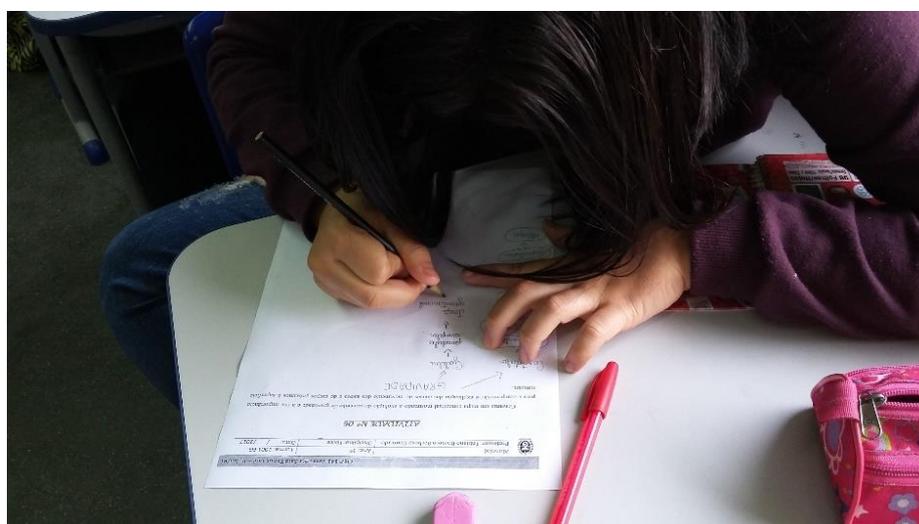
Fonte: o autor

**Figura 78** - Alunos elaborando o mapa conceitual



Fonte: o autor

**Figura 79** - Aluna elaborando o mapa conceitual



Fonte: o autor

**Figura 80** - Aluno elaborando o mapa conceitual

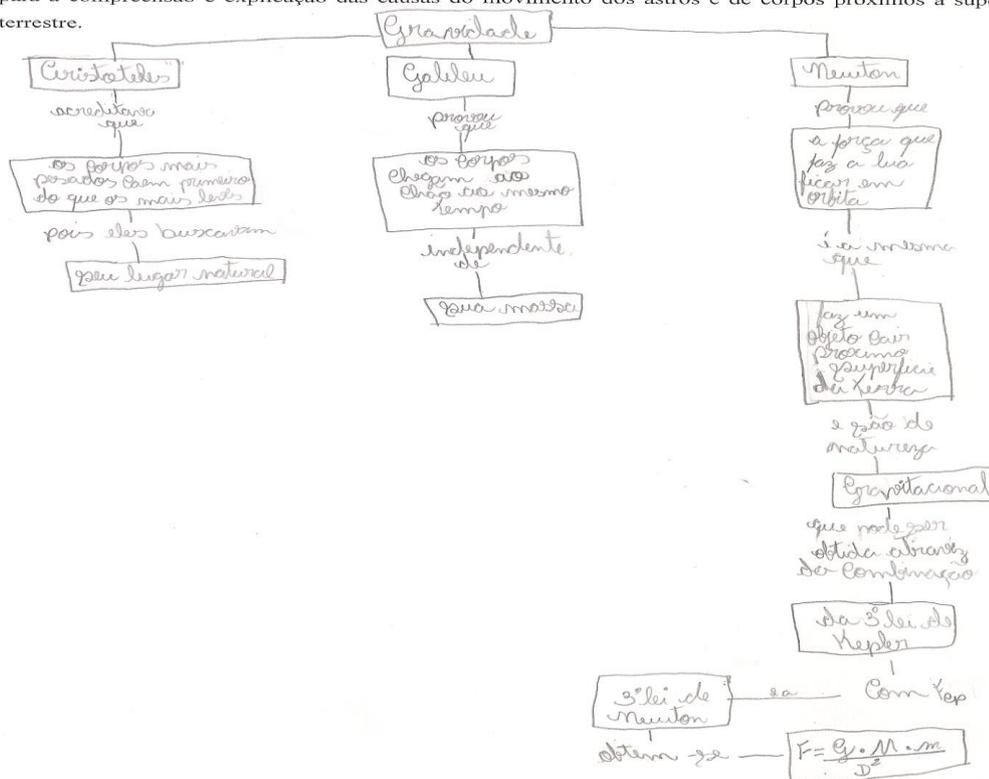


Fonte: o autor

O **Aluno 01** apresentou de forma clara as ideias de Aristóteles e Galileu, conseguindo desenvolver o que foi proposto nas atividades 01 e 03. No modelo mental descrito na primeira atividade ficaram muito vagas as concepções aristotélicas. Ao relacionar as diferenças entre as ideias no mapa conceitual (Figura 81), o aluno conseguiu modificar suas respostas, apresentando definições mais precisas e elaboradas.

**Figura 81** - Mapa conceitual do **Aluno 01**

Construa um mapa conceitual mostrando a evolução do conceito de gravidade e a sua importância para a compreensão e explicação das causas do movimento dos astros e de corpos próximos à superfície terrestre.

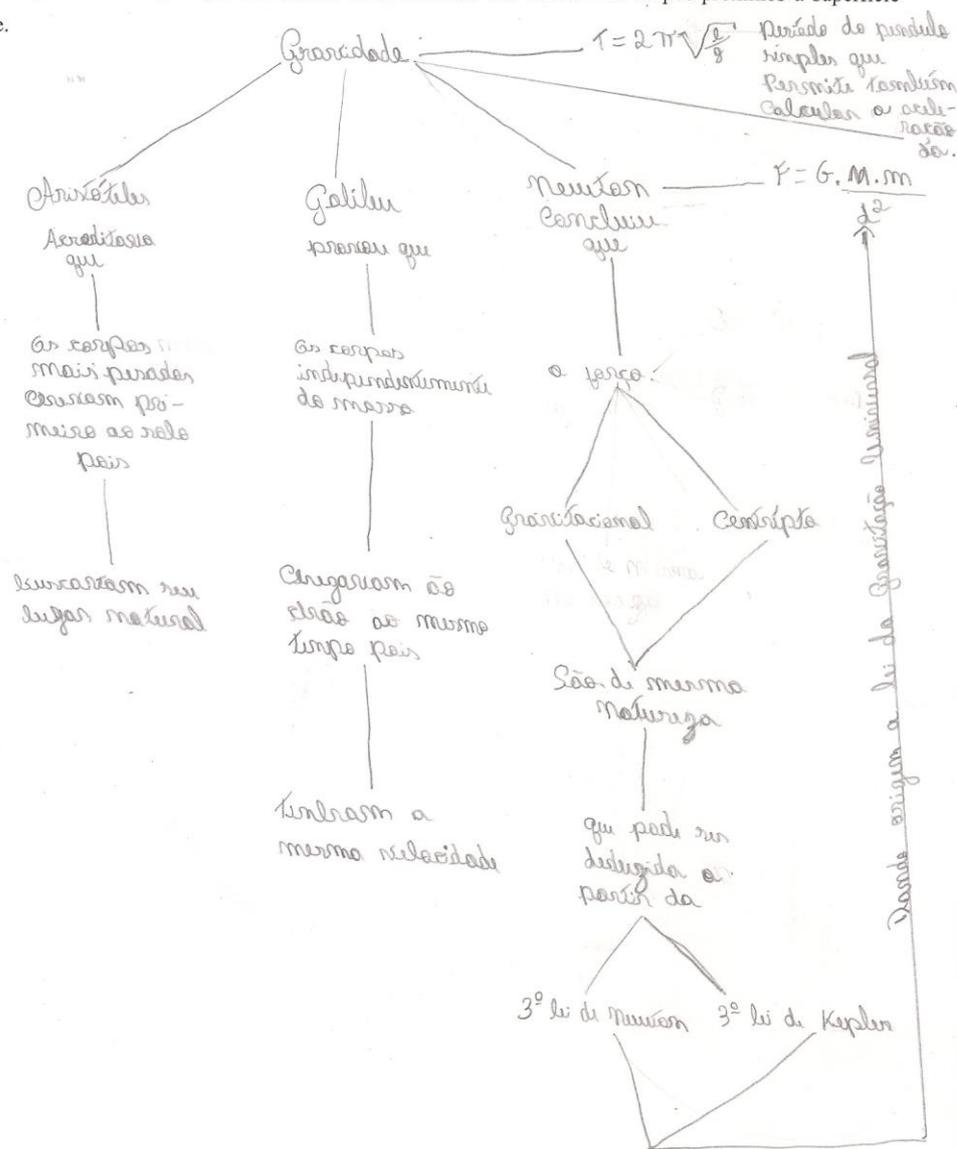


Fonte: o autor

Quando o **Aluno 02** em questão descreveu as ideias de Isaac Newton (Figura 82), ele buscou relacionar suas conclusões na atividade 04, associando a lei dos períodos de Kepler, com a lei da ação e reação e a noção de força centrípeta na formulação da Lei da Gravitação Universal.

**Figura 82 - Mapa conceitual do Aluno 02**

Construa um mapa conceitual mostrando a evolução do conceito de gravidade e a sua importância para a compreensão e explicação das causas do movimento dos astros e de corpos próximos à superfície terrestre.



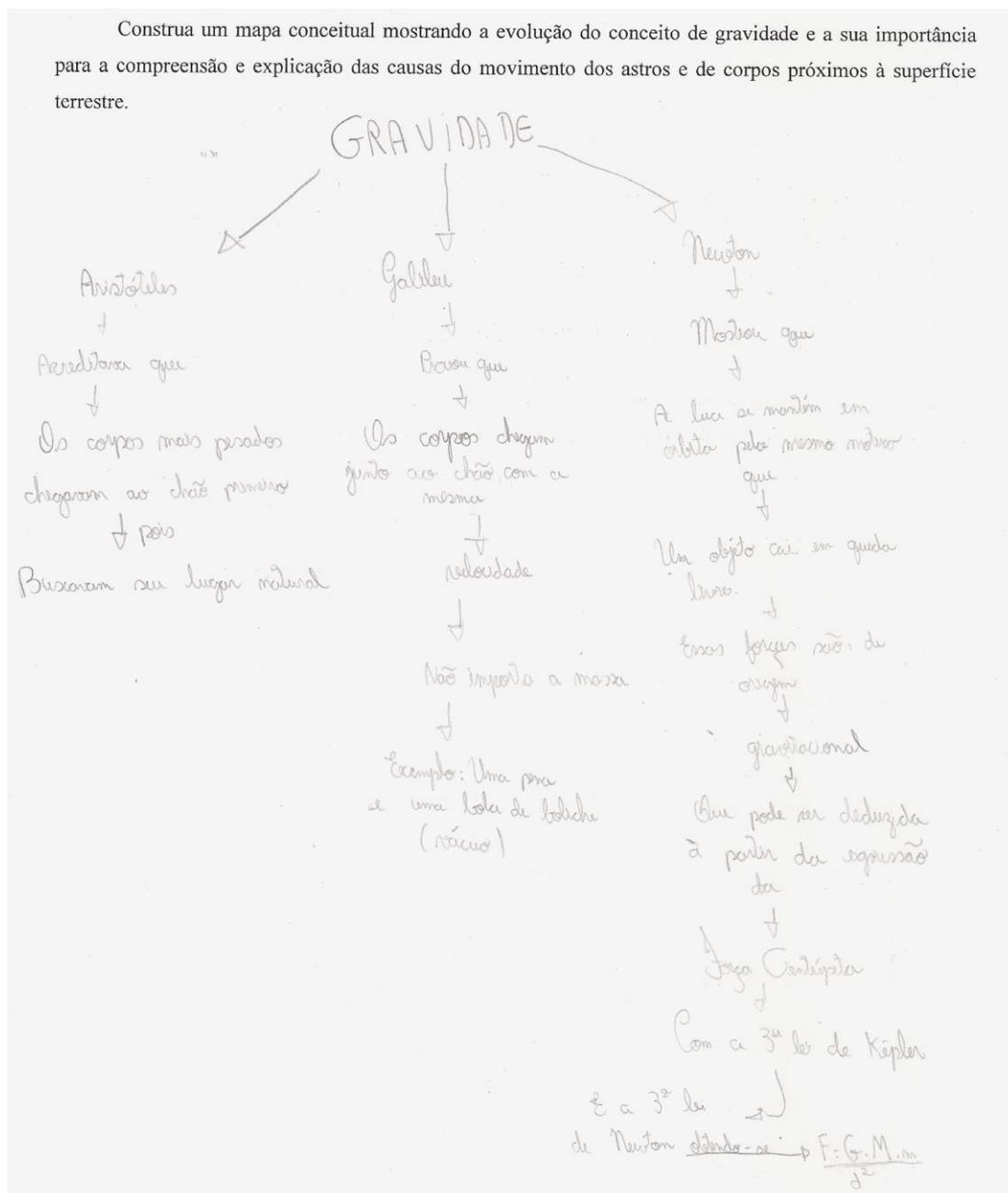
Fonte: o autor

O **Aluno 02** realizou a primeira atividade com a **Aluna 04**. Nesta atividade eles apresentaram sucintamente a ideia de Aristóteles e concentrou a maior parte da atividade na

descrição das ideias de Galileu. Nas atividades seguintes, apresentou definições resumidas na atividade 02 e descreveu de forma equivocada o episódio da maçã.

Nas atividades seguintes o aluno mostra certa evolução, apresentando maior objetividade e clareza no desenvolvimento das atividades, culminando com a confecção ordenada dos conceitos inseridos no mapa conceitual (Figura 83).

**Figura 83 - Mapa conceitual do Aluno 03**



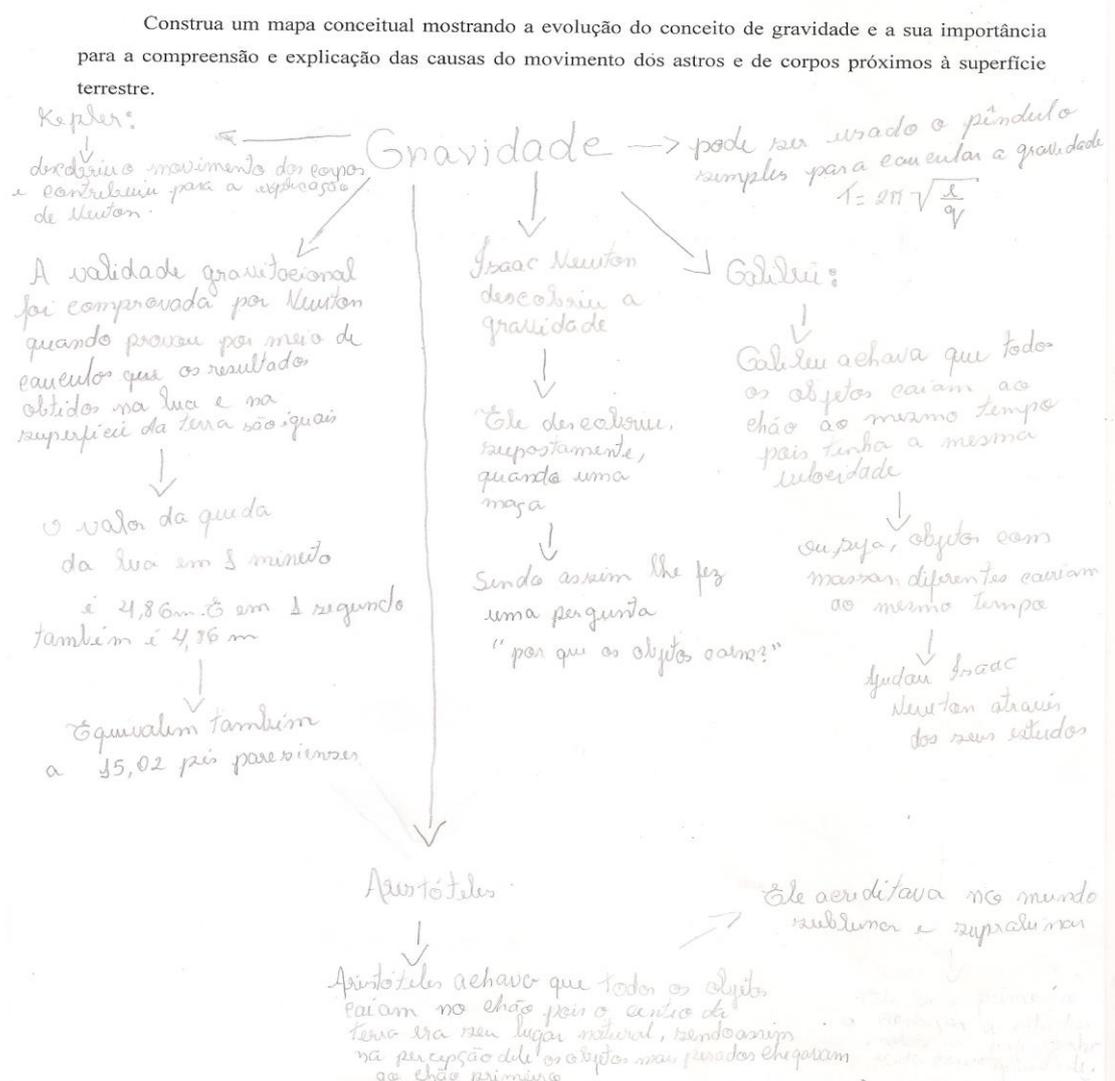
Fonte: o autor

O **Aluno 03** apresentou na primeira atividade as ideias de Aristóteles e Galileu separadamente, cometendo um equívoco na descrição na concepção aristotélica, quando atribuiu a Aristóteles a formulação das leis do movimento.

Nas atividades seguintes, o aluno apresentou as ideias mais organizadas, buscando explicar de forma clara as questões discursivas e experimentais, a representação pictórica do episódio da maçã, além da atividade do quadro comparativo e de cálculo da aceleração da Lua.

Na confecção do mapa conceitual, apresentou as ideias organizadas, conectando as informações e apontando corretamente as principais ideias de Aristóteles, Galileu e Newton. Buscou também apresentar exemplos para explicar as definições de queda livre de Galileu e associou o movimento orbital da Lua com a gravidade, próximo a superfície terrestre.

**Figura 84 - Mapa conceitual da Aluna 04**



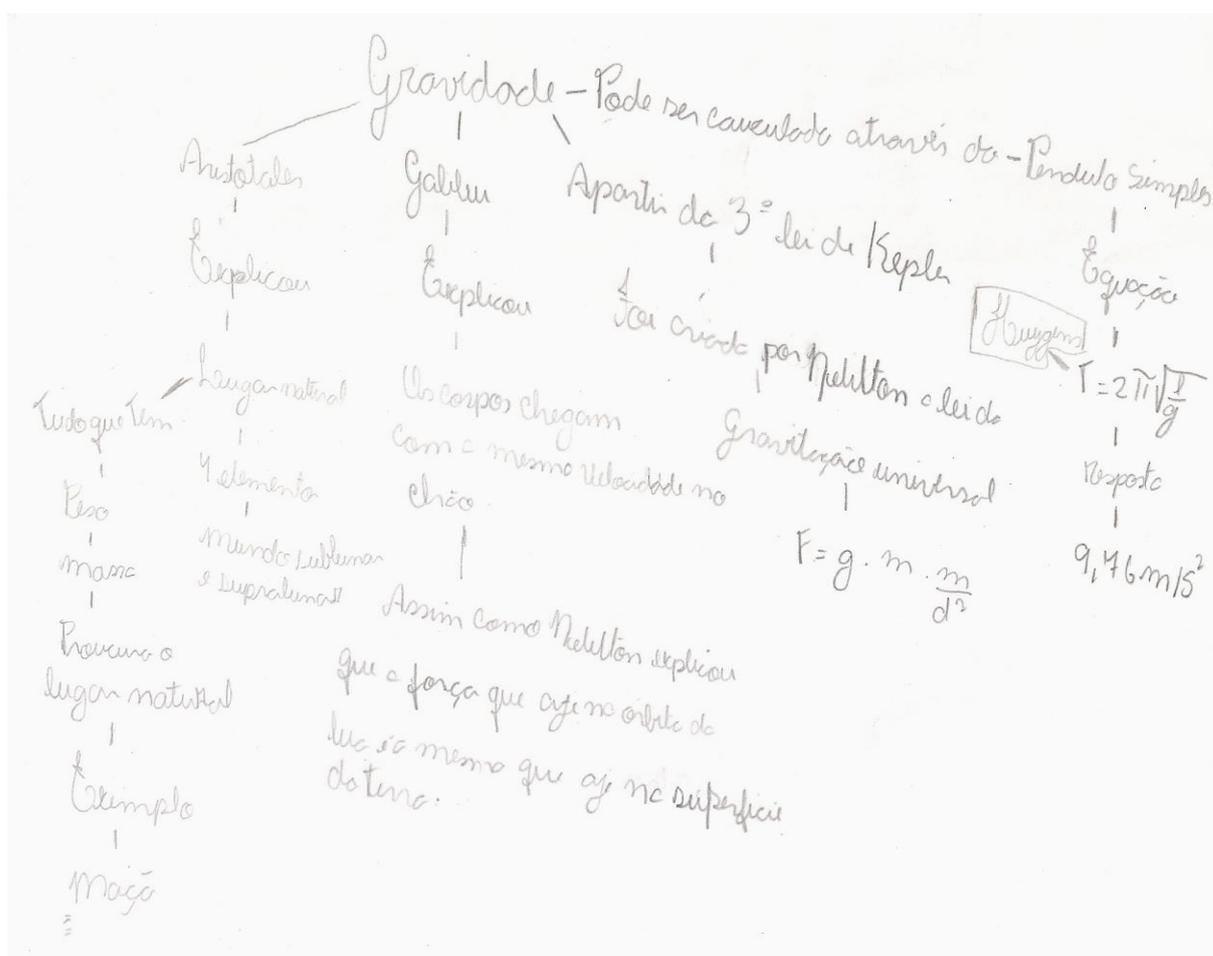
A **Aluna 04** elaborou o mapa conceitual apontando a contribuição de Galileu e Kepler para os trabalhos de Isaac Newton, apesar de cometer os equívocos em atribuir a Isaac Newton a descoberta da gravidade e não deixar claro a relação entre as forças centrípeta e gravitacional.

Na atividade de representação pictórica do episódio da maçã, a aluna não conseguiu expor corretamente o episódio da maçã, mesmo sendo este fato abordado pelo professor pesquisador entre as duas atividades.

Na atividade 04, desenvolveu corretamente as questões, porém apresentou dificuldades na atividade experimental do pêndulo simples, realizando medidas imprecisas e não apresentando conclusões coerentes.

Na confecção do mapa conceitual (Figura 85), apresentou definições confusas e conexões desordenadas. Também não conseguiu inserir a Lei da Gravitação Universal para explicar a unificação dos movimentos terrestre e celeste.

**Figura 85** - mapa conceitual do **Aluno 05**



O **Aluno 05** confeccionou o mapa mental de maneira imprecisa, usando termos vagos, não creditando as concepções de gravidade a Aristóteles e Galileu. Porém nas demais atividades, apresentou clareza na representação pictórica, além de desenvolver satisfatoriamente as atividades discursivas e de cálculo e apresentou medidas precisas na atividade experimental do pêndulo simples. Na confecção do mapa conceitual conseguiu reunir informações mais detalhadas que os demais colegas, associando claramente todas as atividades realizadas.

### **Sétimo Momento (02 aulas) – Avaliação da sequência didática pelos alunos**

No sétimo e último momento foram selecionados alguns alunos para a realização de uma entrevista previamente estruturada (em horário extraclasse), buscando avaliar os aspectos positivos e negativos da sequência didática. Nesta etapa os alunos entrevistados expuseram suas opiniões e apontaram possíveis melhorias. As perguntas feitas foram as seguintes:

- a) Quais foram os pontos positivos desta sequência didática? E os pontos negativos?*
- b) Você gostaria de fazer alguma sugestão para a melhoria desta sequência didática?*

O **Aluno 01** destacou o bom rendimento da turma e fez uma avaliação positiva da sequência didática.

Na segunda pergunta, o aluno sugeriu a realização de mais experimentos, pois achou que com este tipo de atividade “os alunos aprendem melhor”.

*a) Os pontos positivos foram que a turma foi muito bem. A maioria teve uma boa nota e aprenderam bastante.*

*b) Eu acho que deveria ter mais experimentos, não que o que teve foi ruim. Ter mais e com mais os alunos aprendem muito.*

O **Aluno 02** destacou a profundidade da abordagem do tema gravidade como ponto positivo e as contribuições de Aristóteles, Galileu Galilei para o desenvolvimento da Lei da Gravitação Universal de Isaac Newton. O aluno não apontou aspectos negativos nesta sequência didática.

Na segunda pergunta, o **Aluno 02** avalia positivamente a sequência didática, ressaltando a interação da turma com as atividades.

*a) Os pontos positivos foram que nós aprendemos muito sobre a “gravidade”. E através dos estudos sobre a gravidade nós aprendemos nos conhecimentos de Isaac Newton, Galileu Galilei e Aristóteles. Na minha opinião não tem pontos negativos.*

*b) Não. Na minha opinião esta sequência didática está ótima. Assim o aluno participa mais da aula e interage mais.*

O **Aluno 03** destacou a importância da variação dos tipos de atividades realizadas, proporcionando dinamismo na sequência didática. O ponto negativo destacado foram os artigos para serem estudados, achando muita informação para absorver. Cabe aqui destacar que estes artigos citados pelo aluno 03 foram estudados no bimestre anterior a aplicação da sequência didática, que contribuiu para a compreensão das principais características dos trabalhos de Aristóteles, Galileu Galilei e Johannes Kepler para o desenvolvimento do conceito de gravidade.

No item **b)**, o aluno ressalta a importância do dinamismo das atividades, sugerindo inclusive atividades fora da sala de aula.

*a) As atividades dinâmicas foram a melhor parte da sequência didática, pois nós colocamos em prática toda aprendizagem dentro da sala. Então esses foram pra mim os pontos positivos. Para mim os pontos negativos foram os tamanhos dos artigos estudados. Por serem muito grandes, nem todas as informações do artigo foram adquiridas.*

*b) Eu gostaria que houvesse mais atividades dinâmicas dentro e fora da sala de aula.*

A **Aluna 04** avaliou positivamente a sequência didática, afirmando que aprendeu muito acerca do tema gravidade. A aluna não apontou aspectos negativos nas atividades.

No item **b)**, a aluna destaca positivamente a condução das atividades pelo professor pesquisador, “contribuído diretamente para o aprendizado e a vida dos seus alunos”.

*a) Os pontos positivos foi que acrescentou muito conhecimento e sabedoria, estou mais informada sobre a física. Para mim, não há pontos negativos, pois só me transmitiu coisas boas, o conhecimento foi a melhor delas.*

*b) Acho que do jeito que o meu professor Fabiano está fazendo está ótimo, pois está contribuindo para o aprendizado e a vida dos seus alunos.*

O **Aluno 05** destaca que as atividades diversificadas propiciam o interesse dos alunos, tornando as aulas mais interativas e produtivas. O aluno não apresentou críticas a sequência didática aplicada.

No item **b)**, o aluno sugere mais atividades experimentais.

*a) Pontos positivos: maior aprendizagem por parte dos alunos, maior e melhor colaboração de todos, o aluno estuda mais para as aulas, a aula se torna melhor.*

*Pontos negativos: Não tenho nenhum para manifestar.*

*b) Mais experiências.*

## 5.2 MODELOS MENTAIS DE TRABALHO SOBRE MOVIMENTO E GRAVIDADE

A seguir serão listados os *modelos mentais de trabalho* dos alunos sobre os conceitos de movimento e gravidade. Tais modelos foram extraídos baseados nas respostas dadas pelos alunos no decurso da aplicação da sequência didática.

### **Aluno 01**

“Os corpos mais pesados se movimentam mais rapidamente do que os corpos leves, por isso eles chegam ao chão primeiro”.

“Os corpos chegam juntos ao chão pois eles possuem a mesma velocidade”.

“O movimento da Lua está relacionado com as causas do movimento dos corpos em queda livre, ou seja, podem ser explicadas pelos mesmos motivos”.

### **Aluno 02**

“Os corpos mais pesados têm mais força gravitacional, por isso se movimentam mais rapidamente”.

“Galileu afirmou que a Lua e a Terra são de natureza semelhante e que todo corpo caía na mesma velocidade ao chão, porque eles tinham a mesma massa”.

“Segundo Newton, se não houvesse nenhuma força agindo sobre a Lua, ela continuava andando em linha reta. Ele também afirmou que o objeto demora cair ao chão porque a força da gravidade é exercida contra ele”.

“A causa do movimento da Lua em torno da Terra pode ser entendida da mesma forma que uma maçã (ou outro corpo qualquer), está sujeita à ação da força gravitacional”.

### **Aluno 03**

“Aristóteles relacionou a queda dos corpos com a ideia de que os corpos pesados chegam ao chão primeiro”.

“Segundo Galileu, os corpos chegavam juntos ao chão, desprezando a resistência do ar”.

“Newton descobriu que a maçã não procurou seu lugar natural, então ela foi ao chão porque uma força puxava e a mantinha no chão”.

“Newton percebeu que a gravidade exercia influência na atração dos corpos, associando-a com a força magnética. As leis de Kepler reforçaram suas ideias acerca das relações de movimento e gravidade”.

“Newton concluiu que o movimento da Lua e a queda dos corpos são de mesma natureza (gravitacional)”.

#### **Aluna 04**

“Os corpos com maior massa tendem a buscar seu lugar natural”.

“Galileu acreditava que os corpos chegavam juntos ao chão pois tinham a mesma velocidade”.

“Newton descobriu que a força gravitacional seria responsável pela queda dos corpos”.

“Isaac Newton conseguiu explicar as causas dos movimentos dos corpos celestes relacionando-os com a força gravitacional”.

#### **Aluno 05**

“A ideia de movimento natural está relacionada a tendência de os corpos buscarem um lugar onde permanecessem em repouso. Assim sendo, os corpos mais pesados buscavam o solo”.

“Os objetos quando abandonados de uma determinada altura chegam juntos ao chão, independentemente de sua massa”.

“Newton provou que o movimento orbital da Lua é da mesma natureza da queda dos corpos (força gravitacional)”.

### 5.3 CATEGORIZAÇÃO DAS DIFICULDADES

Com foco nas dificuldades apresentadas por esses modelos, foram criadas categorias (emergentes), sendo agrupadas por similaridade, a fim de enquadrar esses *modelos mentais de trabalho* dos alunos.

**Categoria 01:** *Compreensão que corpos “pesados” atingem antes o chão (Aristóteles).*

**Aluno 01:** “Os corpos mais pesados se movimentam mais rapidamente do que os corpos leves, por isso eles chegam ao chão primeiro”.

**Aluno 02:** “Os corpos mais pesados têm mais força gravitacional, por isso se movimentam mais rapidamente”.

**Aluno 03:** “Aristóteles relacionou a queda dos corpos com a ideia de que corpos mais pesados chegam ao chão primeiro”.

**Aluno 04:** “Os corpos com maior massa tendem a buscar seu lugar natural”.

**Aluno 05:** “A ideia de movimento natural está relacionada a tendência de os corpos buscarem um lugar onde permanecessem em repouso. Assim sendo, os corpos mais pesados buscavam o solo.

**Categoria 2:** *Só há movimento quando atuar uma força.*

**Aluno 02:** “A força (seja gravitacional ou horizontal) somente age se o corpo estiver em movimento”.

**Categoria 3:** *Associação do conceito de gravidade como efeito (Galileu) e não como causa (Newton).*

**Aluno 01:** “Os corpos chegam juntos ao chão pois eles possuem a mesma velocidade”.

**Aluno 02:** “Galileu afirmou que a Lua e a Terra são de natureza semelhante e que todo corpo caía na mesma velocidade ao chão, porque eles tinham a mesma massa”.

**Aluno 03:** “Segundo Galileu, os corpos chegavam juntos ao chão, desprezando a resistência do ar”.

**Aluna 04:** “Galileu acreditava que os corpos chegavam juntos ao chão pois tinham a mesma velocidade”.

**Aluno 05:** “Os objetos quando abandonados de uma determinada altura, chegam juntos ao chão, independentemente de sua massa”.

**Categoria 4:** *Associação do conceito de gravidade celeste e celeste.*

**Aluno 03:** “A gravidade exercia influência na atração dos corpos e estava associada com a força magnética”.

#### 5.4 EVOLUÇÃO DOS MODELOS MENTAIS

Foram analisados os *modelos mentais de trabalho* dos cinco alunos a partir dos dados coletados sobre movimento e gravidade e sua importância para a compreensão e explicitação das causas do movimento dos astros e de corpos próximos à superfície terrestre e a unificação entre a mecânica celeste e terrestre.

Nesta etapa buscou-se identificar uma possível evolução desses *modelos mentais de trabalho*, objetivando apontar os indícios de uma aprendizagem significativa.

**Aluno 01:**

Este aluno mostrou uma evolução em seus modelos mentais de trabalho, haja visto ter partido da ideia inicial de que corpos mais pesados chegariam primeiro ao chão, evoluindo para a ideia de que todos os corpos mais pesados chegariam primeiro ao chão e posteriormente à ideia de que a gravidade atua tanto no contexto terrestre como no celeste. Os modelos de trabalho abaixo apontam para indícios de uma aprendizagem mais significativa.

*“Os corpos mais pesados se movimentam mais rapidamente do que os corpos leves, por isso eles chegam ao chão primeiro”.*

*“Os corpos chegam juntos ao chão pois eles possuem a mesma velocidade”.*

*“O movimento de órbita da Lua está relacionado com as causas do movimento dos corpos em queda livre, ou seja, podem ser explicadas pelos mesmos motivos”.*

**Aluna 04:**

Essa aluna parece também demonstrar uma evolução em seus modelos mentais de trabalho, pois parte do conceito aristotélico de que corpos mais pesados buscam seu lugar natural, evoluindo para a concepção galileana acerca da independência da massa em relação ao movimento dos corpos em queda livre. Posteriormente a aluna apresenta a ideia da gravidade como sendo um agente causal do movimento dos corpos, conforme salienta Newton, além de estabelecer uma relação entre os movimentos dos corpos celestes e de corpos próximos à superfície terrestre.

Os modelos de trabalho dessa aluna, listados abaixo, parecem apontar para indícios de uma aprendizagem significativa.

*“Os corpos com maior massa tendem a buscar seu lugar natural”.*

*“Galileu acreditava que os corpos chegavam juntos ao chão pois tinham a mesma velocidade”.*

*“Newton descobriu que a força gravitacional seria a responsável pela queda dos corpos”.*

*“Isaac Newton conseguiu explicar as causas dos movimentos dos corpos celestes e terrestres relacionando-os com a força gravitacional”.*

**Aluno 05:**

Este aluno também mostrou uma evolução em seus modelos mentais de trabalho, haja visto ter partido da ideia inicial de que os corpos mais pesados chegariam primeiro ao chão, evoluindo para a ideia de que todos os corpos chegariam juntos ao chão.

Posteriormente apresenta a ideia de que a gravidade atua tanto no contexto terrestre como no celeste. Acredita-se que os modelos de trabalho, a seguir listados, podem apontar para indícios de uma aprendizagem mais significativa.

*“A ideia de movimento natural está relacionada a tendência de os corpos buscarem um lugar onde permanecesse em repouso. Assim sendo, os corpos mais pesados buscavam o solo”.*

*“Os objetos quando abandonados de uma determinada altura chegam juntos ao chão, independentemente de sua massa”.*

*“Newton provou que o movimento orbital da Lua é da mesma natureza da queda dos corpos (força gravitacional)”.*

Em relação aos Alunos 02 e 03 não foi detectado indícios de evolução em seus modelos de trabalho, haja vista os mesmos apresentarem conceitos físicos confusos e desarticulados. Abaixo seguem os comentários que reforçam tais afirmativas.

O **Aluno 02** afirmou que os corpos caíam com a mesma velocidade em virtude de possuírem a mesma massa.

*“Galileu afirmou que a Lua e a Terra são de natureza semelhante e que toso corpo caía na mesma velocidade ao chão porque eles tinham a mesma massa”.*

Tal afirmativa descaracteriza a ideia de que o movimento dos corpos em queda livre independe da massa dos corpos, ideia justamente contestada por Galileu. Além disso, o aluno não deixou claro a natureza do movimento dos corpos e sua relação com a aceleração da gravidade.

Já o **Aluno 03** deixou implícito a ideia de movimento natural ao associar o movimento da maçã ao conceito de lugar natural.

*“Newton descobriu que a maçã não procurou seu lugar natural, então ela foi ao chão porque uma força a puxava e a mantinha no chão”.*

O conceito de lugar natural foi muito difundido na teoria de Aristóteles, que no decurso da história foi sendo descartada. O aluno em questão não conseguiu diferenciar as ideias de Aristóteles e Newton acerca das causas do movimento dos corpos.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo analisar a potencialidade de uma proposta didática baseada na História da Ciência para a explicitação de modelos mentais que apontem para a aprendizagem significativa de conceitos relacionados à Gravitação Universal.

De forma geral, constatou-se que os modelos mentais de trabalho elaborados pelos alunos em cada situação de ensino foram se tornando mais amplos e evoluídos.

A sequência didática, elaborada com foco na diferenciação progressiva dos conceitos históricos de movimento e gravidade, mostrou-se eficaz para motivar a elaboração de modelos mentais sobre conceitos de gravitação.

A inserção do episódio histórico *A Queda da Maçã* também fornecer subsídios para o aluno elaborar modelos sobre a queda dos corpos e refletir sobre a veracidade do acontecimento e sua aplicabilidade em outros contextos, nos quais existem forças atuando.

Pode-se verificar que os alunos conseguiram elaborar modelos proposicionais baseados na ideia newtoniana sobre o movimento de corpos no contexto terrestre e celeste, e relacionar esses modelos nos experimentos físicos e de “pensamento”, com natureza gravitacional da força centrípeta.

Durante cada momento de aprendizagem o aluno investigado teve a oportunidade de apresentar modelos mentais, em sua maioria instáveis e, às vezes, até incorretos, em relação ao modelo conceitual ensinado. Tais modelos ao serem analisados forneceram direção para o docente, no sentido de tomada de decisão para melhorar a estratégia para a nova abordagem conceitual.

Ao abordar o pensamento newtoniano em atividade de pesquisa, observou que os estudantes ainda reproduzem ideias errôneas acerca dos episódios históricos. Apesar disso, alguns alunos se destacam pelo interesse pela História da Ciência. Cita-se aqui a participação de uma aluna ao ser arguida pelo professor pesquisador, informou que leu o capítulo IX (p.167-189) do livro *Estudos de História e Filosofia das Ciências*, de autoria de Martins (2006), que serviu de base para a elaboração da atividade subsequente.

Na atividade experimental do pêndulo simples verificou-se uma postura mais participativa dos alunos. Acredita-se como Alves (2006, p.13), que este tipo de atividade é uma estratégia efetiva para o desenvolvimento cognitivo dos alunos, abrindo caminhos para o aprendizado por investigação.

Os mapas conceituais elaborados pelos alunos também foram instrumentos úteis para se analisar a evolução conceitual da temática desenvolvida. Observou-se por meio desta

análise que os alunos conseguiram agregar elementos que descrevem o conceito de movimento e gravidade no decurso da história, partindo das ideias de Aristóteles até a consolidação da Lei da gravitação Universal por Isaac Newton.

Finalmente, acredita-se que a presente pesquisa contribuiu para o amadurecimento do docente envolvido, o qual foi a todo instante desafiado a melhorar sua prática de ensino, na perspectiva de obter melhores resultados de aprendizagem de seus alunos.

O produto educacional elaborado como resultado da pesquisa apresenta-se, desta forma, como um potencial material instrucional para auxiliar o professor no ensino da Lei da Gravitação Universal em nível médio.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, V.F. **A inserção de atividades experimentais no ensino de Física em nível médio: em busca de melhores resultados de aprendizagem.** Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília, 2006.
- BAPTISTA, J.P., FERRACIOLI, L. **A construção do Princípio de Inércia e do Conceito de Inércia Material.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 22, n. 2, Junho, 2000.
- BARRETO, Márcio. **Newton e a metafísica: Uma proposta de ensino de Física para o segundo grau a partir do resgate das origens do conceito de força à distância.** Campinas: UNICAMP, 1995. Dissertação de Mestrado em Educação.
- BARRETO, Márcio. **Física: Newton para o Ensino Médio.** Campinas: Papyrus, 2002.
- \_\_\_\_\_. **A Física no Ensino Médio – Livro do Professor.** Campinas: Papyrus, 2012.
- BASSALO, J.M.F. **Nascimentos da Física.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 18 n. 4, dez. 1996.
- BONETTI, M.C. **A linguagem de vídeos e a natureza da aprendizagem.** São Paulo, USP, 2008. Dissertação de Mestrado.
- BRASIL, Ministério da Educação - **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio - Ciência da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** Brasília, 1999.
- BUZAN, T. **Mapas mentais.** Rio de Janeiro: Sextante, 2009.
- CHAVES, A. **Física – Volume 1 - Mecânica.** Rio de Janeiro, Riechmann & Affonso Ed., 2001.
- CUTNELL, J. D., JOHNSON, K. W. **Física. V.1.** Tradução José Paulo Soares de Azevedo. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- DIAS, P.CM; SANTOS, W.M.S., SOUZA, M.T.M. **A Gravitação Universal (Um texto para o Ensino Médio).** *Revista Brasileira de Ensino de Física*; v. 26, n. 3, p. 257 - 271, (2004).
- EISENCK, M.W. e KEANE, M.T. **Psicologia cognitiva: um manual introdutório.** Porto Alegre, RS: Artes Médicas. 490 p (1994).
- FREIRE JÚNIOR, O.F, FILHO M.M., VALLE, A.L. **Uma exposição didática de como Newton apresentou a Força Gravitacional.** *Revista Física na Escola*, v. 5, n. 1, 2004, pp.25-31.
- GIACOMETTI, J. A. **Mecânica Clássica: Uma abordagem para licenciatura.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.
- GONICK, L e HUFFMAN, A. **Introdução ilustrada à Física.** Tradução e interpretação: Luis Carlos de Menezes. São Paulo: Editora Harbra, 1994.

GRECA, I.M. e MOREIRA, M.A.. **The kinds of mental representations - models, propositions, and images - used by college physics students regarding the concept of field.** *International Journal of Science Education*, 19(6): 711-724, 1997.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. **Fundamentos de Física.** 6. ed. Rio de Janeiro. LTC, 2002. v. 2.

JOHNSON-LAIRD, P. (1983). **Mental models.** Cambridge, MA: Harvard University Press. 513p.

JÚNIOR, A. P; SANTOS, S. A; **Uma proposta de abordagem para aulas experimentais de Física no Ensino Médio – Método tradicional x Diagrama ADI.** IV Simpósio Nacional de ensino de Ciência e Tecnologia. Ponta Grossa-Pr, novembro de 2014.

KEMPER, E; **A inserção de tópicos de Astronomia no estudo da Mecânica em uma abordagem epistemológica.** Porto Alegre : UFRGS, Instituto de Física, Programa da Pós-Graduação em Ensino de Física, 2007.

LABURÚ, C. E; SALVADEGO W. N.C; BARROS, M. A; **Uso de atividades experimentais pelo professor das Ciências Naturais no ensino médio: relação com o saber profissional.** 1º CPEQUI – 1º Congresso Paranaense de Educação em Química. Agosto de 2009.

LUIZ, A.M. **Física 2: Gravitação, ondas e termodinâmica: teoria e problemas resolvidos.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007.

MAGALHÃES, M. F; SANTOS, W.M.S., DIAS, P.M.C. **Uma Proposta para Ensinar os Conceitos de Campo Elétrico e Magnético: uma Aplicação da História da Física.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 24, p.489, 2002.

MARQUES, G.C. **Mecânica Clássica para Professores.** São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2014.

MARTINS, R.A. **Alguns aspectos da teoria da gravitação.** *Perspicillum* 4 (1): 9-15. 1990.  
 \_\_\_\_\_ **Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino.** Organizado por C.C. Silva (Livraria da Física, São Paulo, 2006.

MARTINS, R. L. C. (2013). **Estudos dos Modelos Mentais elaborados por alunos do PROEJA sobre temas de Física Moderna: contribuições para o planejamento do ensino.** *Atas...* in: IX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, Girona, 9-12 de septiembre de 2013.

\_\_\_\_\_ **A utilização de mapas conceituais no estudo de Física no Ensino Médio: uma proposta de implementação.** Brasília, UnB, 2006. Dissertação de Mestrado

MATTHEWS, M. R. **História, Filosofia e Ensino de Ciências: A tendência atual de reaproximação.** *Caderno Catarinense Ensino de Física* vol. 12, p. 164, 1995.

MORAES, J.U.P., SILVA JÚNIOR, R.S. **Experimentos didáticos no Ensino de Física com foco na aprendizagem significativa.** *Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review – V4(3)*, pp. 61-67, 2014.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 2012.

\_\_\_\_\_ **Modelos mentais**. *Revista Investigações em Ensino de Ciências*, v. 1, n. 3, p. 193-232, 1996.

\_\_\_\_\_ **O que é afinal aprendizagem significativa?** Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2012. Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2010. Aceito para publicação, *Curriculum, La Laguna, Espanha*, 2012.

\_\_\_\_\_ **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2013. Texto elaborado a partir da conferência Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa proferida no I Workshop sobre Mapeamento Conceitual, realizado em São Paulo, Brasil, na USP/Leste, dias 25 e 26 de março de 2013. Publicado na série Textos de Apoio ao Professor de Física, PPGEnFis/IFUFRGS, Vol. 24, Nº 6, 2013.

NEVES, M.C D. et al. **Galileu fez o experimento do plano inclinado?** *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. v. 7 n.01 pp.226-242, 2008.

NEWTON, I. Sir, 1642-1727. **Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural: livro III**. Isaac Newton; tradução: André Koch Torres de Assis. 1. Ed. – São Paulo: Folha de S. Paulo, 2010.

NUSSENZVEIG, H.M; **Curso de Física Básica, 1: Mecânica**. 5ª Edição. Editora Blucher, 2013.

PEDUZZI, L.O.Q.; **Física Aristotélica: Por que não considerá-la no ensino da Mecânica?** *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. v.13, n 1: p.48-63, abr., 1996.

PORTO, C.M. **A física de Aristóteles: uma construção ingênua?** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 4, 4602, 2009.

POZZO, J. I. **Teorias cognitivas de aprendizagem**. Tradução Juan Acuna Llorens, 3ª. Ed., Porto Alegre. Artes Médicas, 1998.

QUINTAL, J.R., GUERRA, A. **A História da Ciência no processo ensino-aprendizagem**. *Revista Física na Escola*, v. 10 n. 1, Ano: 2009.

ROSA, P.R.S., **O uso de recursos audiovisuais e o ensino de Ciências**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*., v. 17, n. 1: p. 33-49, abr. 2000.

SIMON, R. A., **Do geocentrismo à Gravitação Universal: proposta e implementação de uma sequência didática para o Ensino Médio**. São Carlos, UFSCAR, 2016 Dissertação de Mestrado.

TEIXEIRA, N.S., OLIVEIRA, A.M., **Aristóteles versus Philoponus: um estudo funcional da Física intuitiva dos projecteis**. *Psychologica*, v. II, n. 52: p. 545-558, Universidade de Coimbra, 2010.

TEIXEIRA, E. S. et al. **Os caminhos de Newton para a Gravitação Universal: Uma revisão do debate historiográfico entre Cohen e Westfall.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física – V.27 n°02 – pp. 215-254; agosto de 2010.

VASCONCELOS, F.C.G.C., LEÃO, M.B.C., **O vídeo como recurso didático para ensino de Ciências: uma categorização inicial.** Recife-PE, UFRPE, 2009.

WESTFALL, R.S. **A vida de Isaac Newton.** Tradução Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

## **APÊNDICES**

## Apêndice A – Material do Professor

**A LUA E A QUEDA DA MAÇÃ: COMO NEWTON APRESENTOU A FORÇA GRAVITACIONAL**

**Figura 1** *Uma caricatura denominada “Descoberta da lei da gravitação por Isaac Newton”, de autoria de John Leech, publicada em meados do século XIX (reproduzido de FARA, 1999). O desenho mostra o seu cão Diamond, que certa vez derrubou uma vela acesa sobre manuscritos do dono, que foram destruídos; e o cachimbo, que Newton fumava freqüentemente, quando adulto.*

**CADERNO DO PROFESSOR****FABIANO ROMERO BARBOSA CONRRADO**

## **Apresentação**

Caro(a) colega,

Os desafios aos quais somos submetidos diariamente nos leva a refletir acerca de nossa prática pedagógica. As aulas de Física há muito tempo deixaram de ser meras repetições e resoluções de listas de exercícios que, muitas vezes desestimulam nossos alunos. É necessário repensar esta prática, adotando uma nova postura frente às demandas de nossa educação, buscando novas estratégias para a abordagem dos fenômenos naturais.

Neste trabalho propomos uma sequência didática (SD) aborda a evolução histórica do conceito de gravidade culminando na síntese newtoniana, sendo desenvolvida observando a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, os trabalhos dos Professores Roberto de Andrade Martins e Olival Freire Júnior *et al.*

A SD aqui apresentada foi aplicada no segundo bimestre letivo de 2017 numa turma da primeira série do Ensino Médio Regular de uma Escola Pública do Rio de Janeiro e é parte integrante do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Sociedade Brasileira de Física (SBF), onde sou aluno do Polo 34 – Instituto Federal Fluminense (IFF). Para o êxito na aplicação desta SD, o aluno necessita de alguns pré-requisitos adquiridos no primeiro bimestre letivo, tais como: bases do conhecimento científico, produção de medidas, modelização matemática e queda dos corpos.

O principal objetivo desta SD foi verificar se uma nova proposta para facilitar a aprendizagem da gravitação universal, partindo da evolução histórica do conceito de gravidade. A seguir sugere-se a análise da veracidade do episódio histórico da queda da maçã e a atividade experimental do pêndulo simples para a determinação da aceleração da gravidade.

A proposta consiste em utilizar recursos de mídia (documentário), leitura de artigo, elaboração desenhos (recurso pictográfico), atividade experimental, confecção de modelos mentais e mapas conceituais.

Sugestões e críticas serão muito bem-vindas

Fabiano Romero Barbosa Conrado

[fabianoprofisica@gmail.com](mailto:fabianoprofisica@gmail.com)

## SUMÁRIO

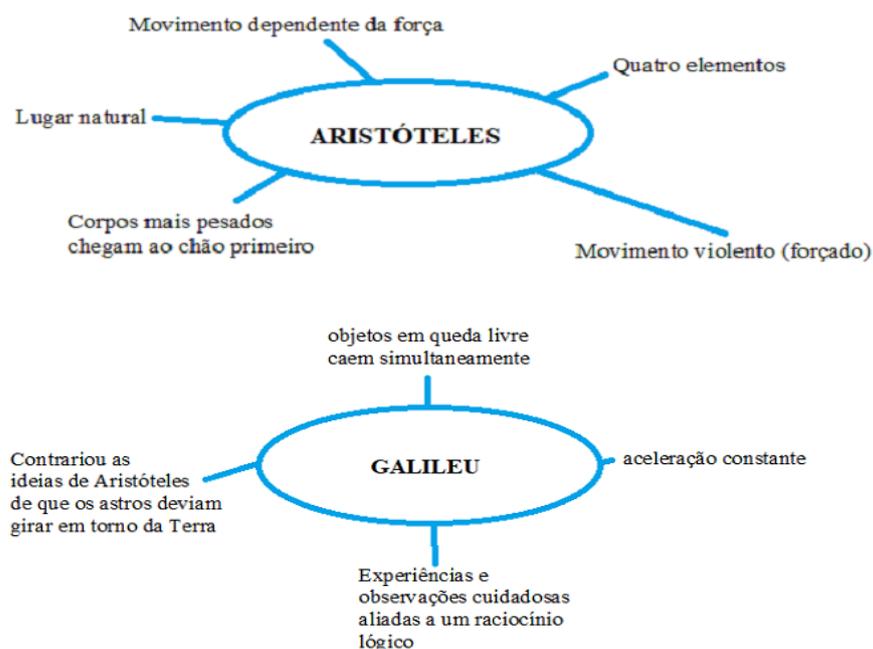
1º Momento: Identificação dos conhecimentos prévios.....	04
2º Momento: Representação pictográfica do episódio.....	13
3º Momento: Pseudos-organizadores prévios.....	14
4º Momento: A síntese newtoniana.....	19
5º Momento: Experimento do pêndulo simples.....	24
6º Momento: Construção do mapa conceitual.....	29
7º Momento: Avalie a sequência didática.....	31

## PRIMEIRO MOMENTO (02 aulas) - Identificação dos conhecimentos prévios

Deve-se propor aos alunos a elaboração de um mapa mental que reflita seu conhecimento sobre o conceito de gravidade. Lembrar aos alunos que deverão explicitar nesse mapa seu conhecimento, ou não, sobre as visões de Aristóteles e de Galileu Galilei.

O mapa mental é uma estratégia de aprendizagem que consiste em um processo de organização utilizando-se palavras-chave, ilustrações-chave (pensamento radiante) que desencadeiam lembranças específicas e estimulam novas reflexões e ideias (Buzan, 2009 – p. 10). A Figura 2 ilustra um exemplo de mapa mental.

**Figura 2** – Exemplo de Mapa Mental.



Fonte: O autor

Após a elaboração dos mapas mentais, cada aluno deve apresentar seu desenho para o grupo, explicando suas ideias. O professor incentiva a discussão em sala de aula, sem, contudo, corrigir erros, apenas questiona os alunos e dizendo que tais dúvidas serão respondidas durante o curso.

Terminadas as apresentações e discussões, propõe-se a exibição de trecho editado do documentário intitulado *O Universo – Gravidade (History)*<sup>17</sup>.

**Figura 3** – Print de abertura do documentário.



Fonte<sup>17</sup>

O trecho exibido tem a duração de 14 minutos e 11 segundos. A narrativa do documentário será descrita a seguir, sendo também comentadas partes nas quais deverão ser dadas ênfases para as futuras discussões com os alunos.

1ª ênfase: a importância da gravidade para a sobrevivência do universo.

A gravidade é ao mesmo tempo poderosa e frágil, e a humanidade busca canalizar sua força e escapar de seus limites. Ela cria e destrói as estrelas, os planetas, as galáxias e dirige sua montanha russa cósmica. Ela é amiga e inimiga, sem a gravidade a vida como conhecemos terminaria, a Terra literalmente explodiria. A gravidade é a força magnífica e misteriosa que governa o universo, é a força mais dominante do universo, age em escalas monumentais e diminutas em atividades rotineiras e extremas, é usada pelos surfistas como fonte de aceleração para sua prancha de surfe, os esquiadores também a utilizam, praticantes de snowboard precisam dela para pousar.

2ª ênfase: A gravidade age sobre tudo que tem massa

A gravidade age sobre tudo que tem massa inclusive sobre nós, 24 horas por dia mesmo quando estamos dormindo ou de pé. A gravidade da Terra sempre está nos acelerando em direção ao centro da Terra, a  $10 \text{ m/s}^2$ . Num parque de diversões a gravidade é a força que move a “Montanha Russa” causando muitos gritos pelos seus ocupantes ao agir sobre o vagão (com acúmulo de energia potencial) puxando o mesmo rapidamente para baixo. Todos os objetos com massa ou energia, partículas, pessoas, planetas, estrelas e galáxias produzem

<sup>17</sup> Documentário disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=hEMnT5P2agI>.

gravidade, ela é onipotente e onipresente, a gravidade atrai, governa, distorce, molda, cria e absorve toda matéria e massa no universo. A gravidade é absoluta age em tudo através de distâncias extremamente grandes e nada escapa de sua ação.

### 3ª ênfase: A força gravitacional é a cola cósmica que liga toda matéria do universo

É a gravidade que mantém o sistema solar unido. A força da gravidade é aquilo que nos segura no planeta e nos impede de sair voando. É a cola cósmica que liga toda matéria do universo. Imagine pegar dois dados e colocá-los perfeitamente em repouso no meio do espaço e separá-los por um centímetro, depois de cerca de uma hora você verá que os dois dados se aproximaram lentamente e se tocaram.

A gravidade criou nosso mundo. O Sol se formou a partir de uma vasta nuvem de gás que se contraiu gravitacionalmente, do mesmo modo a Terra se formou através da atração gravitacional de pequenas partículas, que aos poucos formou um objeto cada vez maior.

Quando se trata da força de atração gravitacional a massa e a distância importam, depende da massa de cada objeto, da quantidade de matéria de cada objeto, é proporcional ao produto das duas massas.

Mas isto não é tudo, a gravidade é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Em outras palavras, quanto maior o objeto mais forte sua atração sobre outros, ou seja, se você dobrar a distância entre dois objetos a atração é apenas um quarto de sua força original.

### 4ª ênfase: A força gravitacional dá direção ao movimento de toda matéria do universo

A força de atração gravitacional faz com que o movimento de toda matéria no universo tenha uma direção. Existem galáxias inteiras em órbita, e em torno de uma da outra, aglomerados de galáxias que orbitam em torno do seu centro comum de massa.

Mas é o potencial prático de canalizar esta força contínua que fascina os cientistas há séculos. Foi Galileu Galilei astrônomo do século XVII o primeiro a reconhecer a existência da gravidade.

**Figura 4** – *Print* do documentário – gravura de Galileu Galilei.



#### 4ª ênfase: a força gravitacional na queda livre dos corpos (Galileu Galilei)

Galileu Galilei descobriu que objetos com pesos diferentes caem à mesma velocidade.

Se pegarmos uma bola de aço e uma de pingue-pongue (ambas do mesmo tamanho) e se soltarmos ambas ao mesmo tempo de qualquer altura, elas chegarão ao chão exatamente ao mesmo tempo, por que caem a mesma velocidade.

Para ilustrar a principal descoberta gravitacional de Galileu Galilei que afirmava que “todos os objetos caem à mesma velocidade”, vamos imaginar que estamos dentro de um parque de diversão, e que o mesmo será o palco de demonstração de queda livre.

Mostrará o que acontece quando um carrinho de montanha-russa cheio de gente e uma bola de tênis caem de uma altura de 126 metros. O carrinho é lançado para o alto de uma torre de 41 andares a 160 Km/h e a gravidade o ajudará nesta jornada.

Imagine que ao atingir o ponto mais alto da montanha russa, a gravidade assume e a queda livre começa. A bola começa a flutuar e os caçadores de aventuras (dentro do carrinho) sentem-se sem peso ou com gravidade zero. Este sentimento é somente uma ilusão, pois os objetos (bola e carrinho) são puxados para a Terra com a mesma velocidade, independentemente de suas massas. As Figuras 5 e 6 representam esse exemplo real da atuação da força da gravidade em objetos em queda livre.

**Figura 5** – *Print* do documentário mostrando uma bola de tênis em queda livre.



Fonte<sup>17</sup>

**Figura 6** – *Print* do documentário mostrando a bola de tênis em queda livre



Fonte<sup>17</sup>

5ª ênfase: a força gravitacional no lançamento de corpos (Newton)

Como lançar uma bola de canhão em órbita?

O famoso físico britânico Sir Isaac Newton viu a maçã cair supostamente sobre sua cabeça(?) e viu a Lua na órbita da Terra, se questionou: não somente a maçã cai em direção a Terra, a Lua também cai (Figuras 7 e 8).

**Figura 7** – *Print* do vídeo mostrando a queda da maçã.



Fonte<sup>17</sup>

**Figura 8** – *Print* do vídeo mostrando semelhanças entre a queda da maçã e o movimento da Lua.



Fonte<sup>17</sup>

Ao observar o movimento da bola de canhão, demonstrou com alguns cálculos que existe uma velocidade suficiente (28000 km/h) para colocá-la em órbita (Figura 9).

**Figura 9** – *Print* do vídeo mostrando o lançamento de um projétil



Fonte<sup>17</sup>

Mas por que a Lua não cai sobre a Terra?

Na verdade, a Lua também tem um movimento lateral e para cada pouquinho que cai também se move nessa direção e a soma desses movimentos é a órbita em torno da Terra (Figuras 10 e 11).

**Figura 10** – *Print* do vídeo da bala de canhão em órbita



Fonte<sup>17</sup>

**Figura 11** – *Print* do vídeo mostrando a Lua em órbita



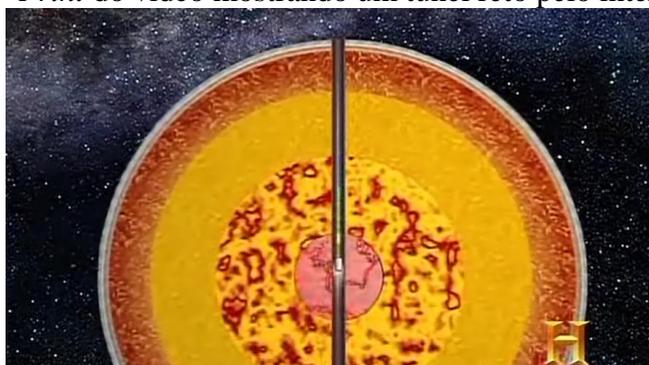
Fonte<sup>17</sup>

6ª ênfase: a força gravitacional terrestre “puxa” toda matéria para o centro da Terra

Newton também compreendeu que a Terra está em queda livre em torno do Sol, com a gravidade forjando o caminho, nosso planeta dá a volta pelo Sol como se fosse uma eterna montanha russa cósmica. Newton desvendou o código da gravidade e os físicos ainda usam suas ideias para resolver todos os tipos de problemas, alguns mais estranhos do que outros.

Por exemplo, o que acontece se uma pessoa tentar atravessar um túnel de um lado a outro do planeta? Nesse caso hipotético seria preciso andar por um túnel reto através da Terra usando apenas a gravidade para impulsioná-lo pelo chamado “expresso da gravidade”.

**Figura 12** – *Print* do vídeo mostrando um túnel reto pelo interior da Terra



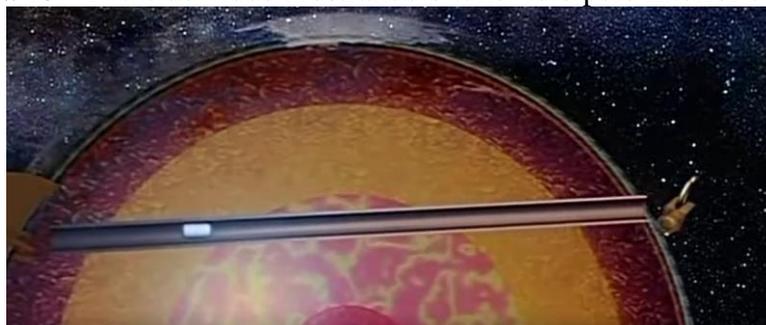
Fonte<sup>17</sup>

7ª ênfase: a força gravitacional terrestre “puxa” toda matéria para o centro da Terra.

Imagine pular dentro de um túnel. Inicialmente a Terra puxa para baixo e você vai para o centro da Terra, você acelera nessa direção. Ao passar pelo centro da Terra e começar a ir para o lado oposto, a gravidade da Terra tenta puxá-lo de volta, e aí você desacelera.

A gravidade tem um efeito de retardamento, não há como sair pelo buraco do outro lado da Terra a uma velocidade tremenda e voltar para o espaço. Na verdade, você chegará a superfície da Terra em repouso completo, chegará em 42 minutos. A gravidade leva 42 minutos para transportar alguém entre quaisquer cidades ligadas por um túnel reto.

**Figura 13** – *Print* do vídeo mostrando o túnel reto pelo interior da Terra



Fonte<sup>17</sup>

A viagem de Los Angeles a Paris leva 42 minutos, e se quiser ir de Los Angeles a Tóquio também levaria 42 minutos. Não importa qual o trajeto através da Terra, a viagem sempre levará 42 minutos. A matemática newtoniana explica por que é assim. Se ligarmos Los Angeles a Nova Iorque cavando um túnel é claro que não desceria reto, mas formaria um ângulo. O ângulo desacelera a descida. Mas a distância também é menor e se você fizer as equações os dois efeitos se cancelam e ainda assim leva-se 42 minutos para chegar. Leva 42 minutos não importa o trajeto. E muito bacana!

Terminada a apresentação do vídeo (final da aula), solicita-se aos alunos como tarefa de casa e entrega na próxima aula, uma pesquisa em livros didáticos, enciclopédias, livros de divulgação ou internet, a veracidade ou não do episódio supostamente vivido por Newton e intitulado *A Queda da Maçã*. Objetiva-se que o aluno compreenda não só a veracidade do fato, mas também se familiarize com as discussões sobre o conceito de gravidade.

Segundo Barreto (1995 *apud* MARTINS, 2006, p. 178), “Newton teria observado uma maçã caindo e ocorreu-lhe a ideia de que o mesmo “poder” que fazia com que uma maçã caísse, talvez fosse responsável por reter a Lua presa a Terra, impedindo-a de se afastar.”

Desta forma, objetiva-se que o aluno por meio da pesquisa consiga relacionar a gravidade atuando tanto na maçã caindo, quanto nos astros. As questões a seguir são propostas para orientar a pesquisa dos alunos.

*a) O que Newton pensava na época em que, supostamente viu a maçã cair (ou quando a maçã caiu sobre sua cabeça)?*

Martins (2006) sugere que Newton estava pensando sobre o magnetismo, comparando a gravidade com a força magnética entre a Terra e os corpos pesados. Newton realmente se interessava pelo magnetismo, porém não fez este tipo de analogia. William Gilbert quem tentou explicar o movimento dos astros e a queda dos corpos através da ideia de forças magnéticas, tendo interpretado a Terra como um grande ímã (MARTINS, 2006, p. 173).

*b) Qual era sua concepção acerca da gravidade?*

A concepção inicial de Newton acerca da gravidade era de que a mesma poderia ser produzida por um tipo de corrente de éter que viria do espaço em direção à Terra, com grande velocidade, impulsionando os corpos para baixo. O efeito dessa corrente ascendente seria menor, de tal forma que o efeito resultante seria um impulso dos corpos para baixo (MARTINS, 2006, p. 174).

Newton tinha formulado uma tentativa de explicar a ideia de gravidade, no entanto essa explicação foi desenvolvida antes da época em que supostamente teria ocorrido o episódio da Queda da Maçã. Assim, este episódio não fez com que Newton descrevesse as causas da gravidade, mas iniciou uma série de associações em sua mente.

*c) Será que foi Newton o primeiro a pensar a respeito da queda dos corpos?*

As origens da ideia de queda dos corpos remetem-se a antiguidade, mais de mil anos antes de Newton. Já se descrevia a queda dos corpos desde os tempos imemoriais, utilizando-se palavras equivalentes a gravidade em vários idiomas. Em latim, essa palavra é escrita como “gravitâs”. Foi dessa palavra latina que saíram as palavras correspondentes em português, francês, inglês e outros idiomas (MARTNS, 2006, p.170).

*d) Você acha que existe relação entre o movimento da queda da maçã e o movimento dos corpos celestes?*

Newton havia demonstrado que a força que mantém a Lua em sua órbita é da mesma natureza da força (gravitacional) que acelera uma maçã (ou um corpo qualquer) na superfície da Terra. *Que a lua gravita em torno da Terra, e é sempre retirada de seu movimento retilíneo, e reconduzida a sua órbita pela força da gravidade* (KEMPER, 2007, p 46).

## SEGUNDO MOMENTO (02 aulas) – representação pictográfica do episódio

De posse da pesquisa realizada pelos alunos, o professor deve solicitar inicialmente aos alunos que criem uma representação pictográfica (desenho) para demonstrar sua compreensão sobre a pesquisa realizada como tarefa de casa. Neste momento o aluno não deve buscar auxílio na pesquisa realizada. Deve usar apenas suas apreensões sobre o assunto pesquisado.

Nessa atividade, espera-se que o aluno consiga representar o episódio da “Queda da Maçã” supostamente na cabeça de Newton e também da “Queda da Lua” em direção à Terra, mostrando a força gravitacional agindo nos dois casos. Ademais, espera-se que os alunos consigam mostrar que a maçã (ou um objeto qualquer) e a Lua tem seus movimentos regidos pelas mesmas leis. Corpos celestes não se comportam de outra forma que os terrestres. As leis de Newton têm um sentido universal (Gonick, L e Huffman, A; 1994, p. 26).

Após o término do desenho, o professor deve recolher os desenhos e solicitar que os alunos consultem os dados de suas pesquisas. Após a consulta, o professor indagará os alunos sobre a necessidade ou não de refazerem seus desenhos.

Consultando a atividade de casa, os alunos podem novamente fazer um desenho. O professor deverá avisar que deverão apresentar seus desenhos à turma, por isso devem melhorá-lo.

Dispostos em círculo, os alunos devem expressar suas conclusões baseadas nas ênfases do vídeo exibido na aula anterior, comparando com a pesquisa realizada em casa e expressa sob a forma de desenhos. As questões sugeridas no Primeiro Momento (pesquisa), devem nortear as discussões. Cada desenho elaborado nesta aula representa um *modelo mental de trabalho*. O professor deve auxiliar os alunos no que se refere à comparação dos desenhos antes e depois, a fim de gerar interação por meio de perguntas e ponderações.

**Figura 14** - Exemplo de representação pictográfica sobre a Queda da Maçã e a Queda da Lua.



Fonte: <http://newtoneamaca.blogspot.com.br/2010/01/367-anos-de-isaac-newton.html>. Acesso em 15/01/2018.

### TERCEIRO MOMENTO (02 aulas) – pseudos-organizadores prévios

Sugere-se aqui a leitura do texto sobre o episódio *Queda da Maçã*, de Isaac Newton, relatado no capítulo IX (p.167-189) do livro *Estudos de História e Filosofia das Ciências*, de autoria de Martins (2006).

O texto será utilizado como um pseudo-organizador prévio. Segundo Moreira (2012, p.11), o organizador prévio pode ser um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. Trata-se de um material apresentado antes do estudo do material de aprendizagem e em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade.

Os organizadores prévios podem ser de dois tipos: *organizador expositivo*, recomendado quando o material de aprendizagem é não familiar – quando o aprendiz não possui subsunçores e, *organizador comparativo*, recomendado quando o material é relativamente familiar e que o ajudará a integrar novos conhecimentos à estrutura cognitiva, discriminando-os de outros componentes já existentes nesta estrutura que são essencialmente diferentes, mas que podem ser confundidos (Moreira).

**Texto: A maçã de Newton: História, Lendas e Tolices**  
(Adaptado de Roberto de Andrade Martins, ANO 2006)

#### **Introdução**

O episódio da queda da maçã teria ocorrido durante a juventude de Isaac Newton (1642-1727). Ele iniciou seus estudos no *Trinity College*, em Cambridge, em 1661. Quatro anos depois obteve o título de “bacharel em artes” e permaneceu em Cambridge, para prosseguir seus estudos. No entanto, no outono de 1665 a Grande Praga atingiu a Inglaterra. A Universidade foi fechada, os alunos se dispersaram e Newton abandonou a cidade, retornando a propriedade rural de Woolsthorpe, onde havia nascido e onde a avó o havia criado. Lá passou quase todo o tempo (18 meses), até a primavera de 1667, quando a peste havia desaparecido e foi possível retornar a Cambridge.

Foi nos dois “anos maravilhosos”, de 1665 a 1667, que Newton iniciou alguns de seus trabalhos científicos mais relevantes de sua vida como “binômio de Newton”, e desenvolveu importantes ideias sobre a gravidade. A anedota sobre a maçã de Newton se refere exatamente ao tempo em que ele passou na fazenda de Woolsthorpe – mais exatamente no ano de 1666. Há várias versões antigas desse suposto acontecimento, que serão descritas a seguir.

### **Houve realmente o episódio da maçã ?**

Newton deixou, ao morrer, uma vasta quantidade de manuscritos. No entanto, jamais foi encontrada qualquer descrição sua a respeito da queda da maçã.

Sabemos, no entanto, que Newton descreveu esse episódio para algumas pessoas, quando já era idoso. Um desses testemunhos foi registrado por William Stukeley, membro da *Royal Society* e amigo pessoal de Newton, que completou em 1752 as “Memórias da vida de Sir Isaac Newton”, que só foram publicadas no século XX. Nesse manuscrito encontramos o seguinte relato referente à visita que Stukeley fizera a Newton em 15 de abril de 1726:

[...] Depois do almoço, como o tempo estava quente, fomos ao jardim e tomamos chá sob a sombra de algumas macieiras, somente ele e eu. Entre outras coisas, disse-me que ele estava exatamente na mesma situação em que, muito tempo atrás, a ideia da gravitação veio à sua mente. “Por que uma maçã deve sempre descer verticalmente ao solo ?” pensou ele consigo mesmo, por ocasião da queda de uma maçã enquanto ele estava sentado em uma atitude contemplativa (STUKELEY, ROYAL SOCIETY MS. p. 142, fl. 14 apud MCKIE & BEER, 1951, p 52-53).

A história da maçã foi publicada pela primeira vez por Voltaire, ano da morte de Newton (1727). Voltaire passou alguns anos na Inglaterra, nessa época. Ele se interessava muito pelo pensamento de Newton e o visitou, antes de seu falecimento. Conversou também com Catherine Barton, sobrinha de Newton que cuidava do tio. Catherine lhe contou a história da maçã, que Voltaire publicou em diversas de suas obras.

Outra fonte da história da maçã é John Conduitt, uma pessoa que trabalhava com Newton na Casa da Moeda Inglesa e que, depois, se casou com Catherine. O relato de Conduitt permaneceu manuscrito, como o de Stukeley.

Nenhum desses relatos mais antigos diz que a maçã teria caído na cabeça de Newton, nem que ele estava deitado ou adormecido. Todos concordaram que Newton estaria pensativo no jardim da fazenda de sua mãe em Woolsthorpe, que a maçã o teria desencadeado uma série de ideias. No entanto, a descrição dessas ideias varia, de uma versão para outra.

Posteriormente, a história da maçã foi sofrendo acréscimos e distorções. Uma versão divulgada por Leonhard Euler, em 1760, descreveu que Newton estava dormindo sob uma macieira e que a maçã caiu na sua cabeça.

### **O que Newton pensou ao ver a maçã cair ?**

A descrição de Conduitt indica que teria ocorrido uma *mudança de concepção*,

quando “surgiu em sua mente que o poder da gravidade (que trouxera uma maçã da árvore ao solo) não estava limitado a uma certa distância da Terra.” Ou seja, Newton (como todos) associava a queda da maçã à gravidade, mas começou a pensar que a gravidade existia não apenas perto da Terra, mas também a grandes distâncias (talvez até a Lua).

Vamos partir da descrição que foi conservada por John Conduitt:

No ano de 1666 ele novamente se retirou de Cambridge [...] para (a fazenda) de sua mãe em Lincolnshire e enquanto estava meditando em um jardim surgiu em sua mente que o poder da gravidade (que trouxera uma maçã da árvore ao solo) não estava limitado a uma certa distância da Terra mas que esse poder deve se estender muito mais longe do que se pensava usualmente. “Por quê não até a altura da Lua?” – disse ele a si próprio – e se assim é, deve influenciar seu movimento e talvez retê-la em sua órbita (CONDUIT, apud WESTFALL, 1990, p 154).

De acordo com a descrição de Conduitt, Newton conjecturou que a gravidade poderia ter um enorme alcance. Essa é exatamente nossa concepção – porém não era algo tão óbvio assim. Os pensadores anteriores a Newton não haviam chegado a essa ideia.

Primeiramente, vamos compreender essa concepção. Se prendermos uma pedra ou qualquer outra coisa pesada a um barbante e fizermos esse objeto girar rapidamente, vamos sentir uma força no cordão. Nós precisamos puxar o cordão para que a pedra gire em torno de nossa mão. Se pararmos de fazer força (por exemplo, largando o cordão), a pedra deixará de ter um movimento circular em torno de sua mão e se afastará, movendo-se inicialmente na direção tangencial.

Para nós (e para Newton), se não existisse nenhuma força agindo sobre a Lua, ela se moveria em linha reta e se afastaria da Terra. Como ela não se afasta, isso indica que há uma força agindo sobre ela, que a mantém presa à Terra. Se a descrição de Conduitt estiver correta, foi naquela ocasião, na fazenda de Woolsthorpe, que Newton percebeu isso.

Há, é claro, um pré-requisito: Newton já precisava aceitar a lei da inércia, ou algo semelhante. Essa ideia havia sido apresentada claramente por Descartes.

Sabemos, pelos cadernos de anotações que Newton mantinha, que antes do período em que se retirou para Woolsthorpe ele leu por conta própria várias obras importantes de Matemática, Astronomia e Filosofia que lhe deram uma excelente base sobre suas pesquisas posteriores. Ele leu uma tradução inglesa do “Diálogo sobre os maiores sistemas do mundo, Ptolomaico e Copernicano”, de Galileu Galilei, onde se encontra uma boa argumentação mostrando que a Lua e a Terra são de naturezas semelhantes.. e foi lendo os *Princípios de Filosofia* de René Descartes que Newton obteve alguns dos pré-requisitos para a ideia que teve ao ver a maçã cair.

**Figura 15** – Mão segurando e girando uma funda onde está uma pedra

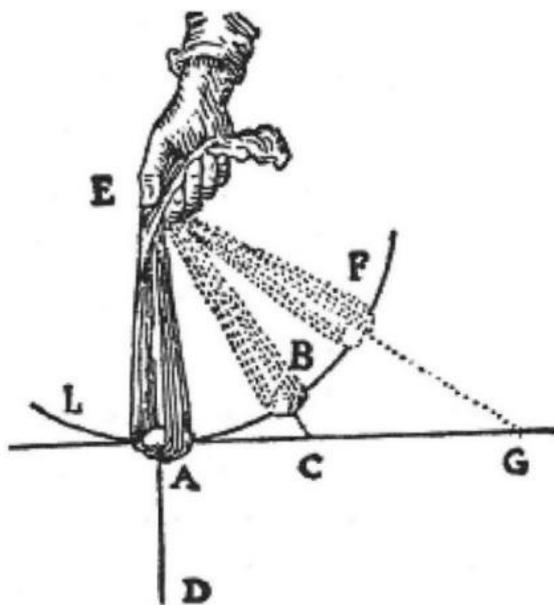


Imagem disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172015000101602](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172015000101602)

Na Figura 15 representada na obra de Descartes, uma mão segura e gira uma funda, onde está uma pedra. Se a mão não segurasse a funda, a pedra seguiria em linha reta e se afastaria da mão. O efeito do puxão que é efetuado pela pessoa faz com que a pedra se desvie da reta e siga a trajetória circular. Foi essa ideia que Newton aplicou à Lua.

A Lua não é um corpo diferente da Terra, é da mesma natureza - e portanto, é como uma pedra. Se nada agisse sobre a Lua, ela se moveria em linha reta. Há alguma coisa que a desvia da sua trajetória retilínea e a mantém presa à Terra. Essa "coisa" pode ser a mesma gravidade que faz com que as maçãs caiam.

#### **Atividade avaliativa da aprendizagem**

O texto acima, extraído e adaptado do capítulo IX do livro Estudos de História e Filosofia das Ciências, de autoria de Martins (2006), relata o possível episódio da queda da maçã de Isaac Newton. Após a leitura do texto, **compare as ideias de Aristóteles, Galileu e Newton, apontando as possíveis diferenças entre suas concepções acerca da gravidade.**

Ao final da leitura do texto, os alunos devem preencher uma tabela comparativa das ideias de Aristóteles, Galileu e Newton, apontando as possíveis diferenças entre as concepções acerca da gravidade. Os conceitos inseridos na Tabela devem ser analisados

levando em conta a correta diferenciação e relevância. **Quais ideias sobre gravidade esses importantes pensadores tinham?**

As respostas dos alunos refletem seus *modelos mentais de trabalho*, representações conceituais de sua compreensão sobre os diferentes pensamentos.

**Quadro 1** - Atividade avaliativa

ARISTÓTELES	GALILEU	NEWTON
<p>Segundo Aristóteles, havia quatro elementos básicos: terra, água, ar e fogo. A cada um dos elementos corresponderia um lugar natural e um movimento natural: aos corpos pesados, o centro do Universo.</p> <p>Um corpo só poderia se mover, quando se encontrasse fora de seu lugar natural. Portanto, a corpos pesados corresponderia um movimento natural em linha reta para baixo, em direção ao centro do Universo.</p> <p>Quando se encontram em seu lugar natural, os corpos não se movem (Dias, Santos e Souza, 2004).</p>	<p>De acordo com Galileu, no vácuo, os movimentos de queda são os mesmos para todos os corpos, independentemente de seu peso e sua forma, quando abandonados simultaneamente.</p> <p>Galileu chegou a esta conclusão notando que a diferença entre o movimento de queda de objetos de pesos e formas diferentes é cada vez menor à medida que esses objetos caem em meios de resistência cada vez menores.</p> <p>Ele estava convencido de que, por mais fluido, suave e tranquilo que fosse o meio, ele se opõe ao movimento com uma resistência que está diretamente relacionada com a velocidade do objeto (Kemper, 2007).</p>	<p>Newton concluiu que a Terra exerce uma atração sobre os objetos que estão sobre sua superfície, e que esta força se estendia até a Lua e produzia a aceleração centrípeta necessária para “reter” a Lua em órbita, e que o mesmo aconteceria com o Sol e os planetas.</p> <p>Foi somente Newton conseguiu que conceber a ideia de gravidade como um agente causal, criou o conceito de força com o advento da lei da gravitação universal, superou a dicotomia imposta pela teoria aristotélica, articulando a natureza de movimento descoberto por Galileu e Descartes, com sua teoria da gravidade.</p> <p>Então Newton formulou a hipótese da existência de uma força de atração universal entre os corpos em qualquer parte do Universo e que tal força varia com o inverso do quadrado da distância (<math>1/r^2</math>):</p> $F = G.M.m/d^2$ <p>Newton relata que chegou a esse resultado utilizando as relações matemáticas da velocidade e da força centrípeta no movimento circular uniforme combinado com a Terceira Lei de Kepler.</p>

#### QUARTO MOMENTO (02 aulas) – A síntese newtoniana.

Retomando a discussão sobre a queda dos corpos, deve ser proposto aos alunos que calculem a aceleração da Lua, tendo como referência a superfície da Terra. Esta atividade teve como objetivo mostrar que a força centrípeta que age sobre a Lua é de natureza gravitacional.

Adotando a proporcionalidade entre força centrípeta ( $F_c$ ) e aceleração centrípeta ( $a_c$ ), deve ser imaginado que a Lua cairá na direção da Terra. A atividade completa, bem como os dados para sua resolução constam do Apêndice A.

Deve-se lembrar ao aluno as ideias de Newton, demonstradas por meio de suas proposições no Livro III (Newton, I. Sir, 2010, p. 19), isto é, uma Força Centrípeta é capaz de gerar movimentos circulares ou elípticos, cujos movimentos obedecem à 3ª Lei de Kepler. Esta  $F_c$  deve ser proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da circunferência.

**Demonstração:** Considerando a órbita dos planetas como sendo aproximadamente circular, a velocidade média de cada um deles seria

$$v = 2\pi R/T \quad (08)$$

e substituindo na equação da aceleração

$$a = v^2/R \quad (09)$$

teríamos

$$a = \frac{(2\pi R/T)^2}{R} = (2\pi)^2 \cdot (R/T)^2 \quad (10)$$

Utilizando a terceira Lei de Kepler

$$T^2 = K \cdot R^3 \quad (11)$$

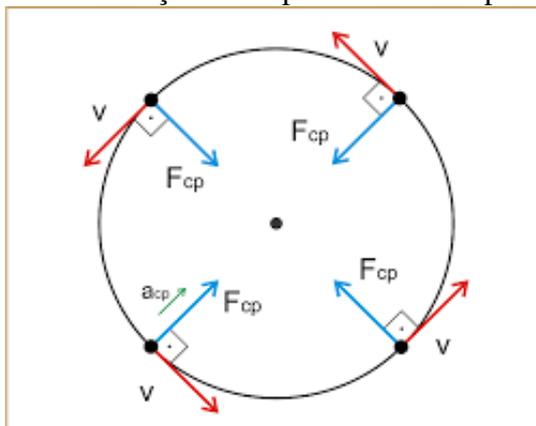
e substituindo  $T^2$  por  $K \cdot R^3$ , obtemos:

$$a = (2\pi)^2 \cdot (R/KR^3) = (2\pi)^2 \cdot K/R^2 \quad (12)$$

Ou seja, as acelerações dos diversos planetas são inversamente proporcionais aos quadrados das distâncias ao Sol (MARTINS, 2006, p.185)

Partindo desse raciocínio pode-se afirmar que na superfície da Terra esta  $F_c$  sobre a Lua será  $60^2$  vezes maior que na órbita da Lua, uma vez assumida a distância média da Lua à Terra ser de 60 raios terrestres, A Figura 16 exemplifica a  $F_c$ .

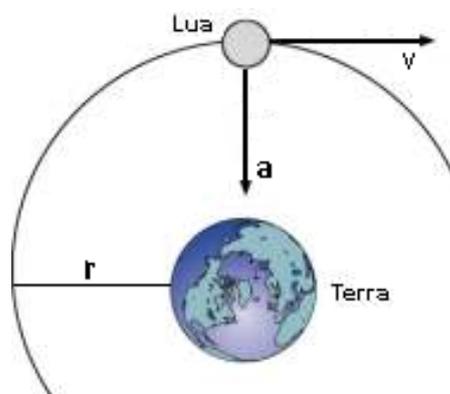
**Figura 16** – Força centrípeta e aceleração centrípeta sobre uma partícula em órbita circular.



**Fonte:** Disponível em: <https://descomplica.com.br/blog/tag/forca-centripeta/>. Acesso em 22/12/17.

1. Inicialmente deve-se calcular a aceleração centrípeta ( $a_{c\text{Lua}}$ ) da Lua à distância de sua órbita atual (60 raios terrestres nas sizígias), utilizando os dados tabelados. A Figura 17 representa o sistema Terra-lua e os sentidos da velocidade e aceleração.

**Figura 17** – Sistema Terra-Lua



**Fonte:** <http://profevertorangel.blogspot.com.br/2013/04/aceleracao-centripeta.html>. Acesso em 01/01/2018

2. Em seguida deve-se observar que Newton não expressou a aceleração da Lua em unidades do sistema MKS. Deve-se transformar os valores das unidades de acordo com os cálculos obtidos por Newton.

3. Imaginando que a Lua caia em direção à Terra compreender que uma força centrípeta capaz de gerar movimentos circulares ou elípticos, e cujos movimentos obedecem 3ª Lei de Kepler, deve ser proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da circunferência.

E que na superfície da Terra esta força sobre a Lua será  $60^2$  vezes maior que na órbita da Lua, uma vez que estamos assumindo a distância média da Lua à Terra ser de 60 raios

terrestres. Adotando a proporcionalidade entre força e aceleração, **determine a aceleração da Lua na superfície da Terra.**

De acordo com os cálculos efetuados, a que conclusão é possível chegar?

Resolução:

A princípio, vamos calcular a velocidade  $v$  com que a Lua gira em torno da Terra, a partir da equação

$$v = C/P \quad (13)$$

onde:  $C$  = circunferência da órbita da Lua

$P$  = período de revolução da Lua

Então, temos que:

$$v = 1017,5 \text{ m/s}$$

Agora, calcularemos a aceleração centrípeta da Lua na altura de sua órbita pela equação

$$a_{cp} = v^2/R \quad (14)$$

Fazendo os cálculos, obtemos

$$a_{cp} = 0,00271 \text{ m/s}^2$$

Contudo, Newton não expressou esta medida em unidades do sistema MKS. Ele escreveu que a Lua percorrerá na queda 15 1/12 pés parisienses em 1 minuto (60 s). Utilizando a expressão da distância percorrida por um corpo com aceleração constante a partir do repouso

$$h = h_0 + v_0.t + at^2/2 \quad (15)$$

obtemos:

$$h = 0 + 0.60 + 0,00271.(60)^2/2$$

$$h = 4,88 \text{ m}$$

e considerando que 1 pé parisiense = 0,3248m, concluímos que:

$$h = 15,02 \text{ pés parisienses}$$

Agora vamos imaginar que a Lua caiu na direção da Terra. Como Newton já havia demonstrado, em proposições no Livro III, que uma força centrípeta capaz de gerar movimentos circulares ou elípticos, e cujos movimentos obedecem à Terceira Lei de Kepler, deve ser proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da circunferência, ele pode afirmar que na superfície da Terra esta força sobre a Lua será  $60^2$  vezes maior que na órbita da Lua, uma vez que estamos assumindo a distância média da Lua à Terra ser de 60 raios terrestres. Adotando a proporcionalidade entre força e aceleração, chegamos à conclusão que a aceleração da Lua na superfície da Terra será igualmente  $60^2$  vezes mais intensa que a aceleração na órbita natural da Lua (FREIRE Jr, 2004, p. 30).

Considerando que  $a_{cp} = 0,00271 \text{ m/s}^2$ , calculamos a aceleração da Lua na superfície da Terra, considerando  $F \propto a_{cp}$ , temos que:

$$a = 0,00271 \cdot (60)^2 = 9,76 \text{ m/s}^2$$

e considerando  $t = 1 \text{ s}$  e  $v_0 = 0$ , temos que:

$$h = h_0 + v_0 \cdot t + a \cdot t^2 / 2$$

$$h = 0 + 0 \cdot 1 + 9,76 \cdot (1)^2 / 2 = 4,88 \text{ m (15,02 pés parisienses)}$$

Os resultados obtidos para a distância de queda da Lua (em 60 s) em sua órbita e na superfície terrestre (em 1 s) estão em excelente concordância e comprovam, seguindo um raciocínio parecido daquele seguido por Newton, a validade da Lei da Gravitação Universal, ou seja, a força que faz a Lua cair na superfície da Terra e aquela que a mantém em sua órbita são de mesma natureza (KEMPER, 2007, pp. 47-48).

Dados:

Tabela 1:

Distância média da Lua à Terra = raio de órbita da Lua. 60 raios terrestres $\rightarrow R = 60r$ .
Período de revolução da Lua $\rightarrow P = 27 \text{ dias } 7 \text{ horas } 43 \text{ minutos}$ .
Circunferência da Terra $\rightarrow c = 2\pi r = \pi d \rightarrow d = c/\pi$ , logo, $d = 123249600/\pi \rightarrow d = 39231500$ pés parisienses.
Circunferência da órbita da Lua $\rightarrow C = 2\pi R$ ; $R = 60r$ ; $C = 2\pi(60r) = 60(2\pi r) \rightarrow C = 60c \rightarrow C = 60 \times 123249600 = 7394976000$ pés parisienses.
Diâmetro da órbita da Lua: $D = 60d = 60 \times 39231500$ pés parisienses.
Conversões: 1 pé parisiense = 0,3248 metros 12 “linhas” parisienses = 1 polegada parisiense

Tabela 2:

Distância média da Lua à Terra = raio de órbita da Lua (R): aproximadamente 60 raios terrestres:	$R = 60 r = 3,82 \cdot 10^8 \text{ m}$
Período de revolução da Lua (P)	$P = 27,3 \text{ dias} = 2358720 \text{ s}$
Circunferência da Terra (c)	$c = 4 \cdot 10^7 \text{ m}$
Diâmetro da Terra (d)	$d = 12740000 \text{ m}$
Circunferência da Órbita da Lua (C)	$C = 2,4 \cdot 10^9 \text{ m}$

Diâmetro da órbita da Lua (D)	$D = 7,64 \cdot 10^8 \text{ m}$
-------------------------------	---------------------------------

## QUINTO MOMENTO (02 aulas) – Experimento do pêndulo simples

Newton se apoiou nos trabalhos de Huygens (1629-1695), sobre o pêndulo, publicados no *Horologium Oscillatorium* em 1673, obtendo a primeira medida confiável para a aceleração da gravidade. O resultado de Huygens apresentados por Newton pode então ser expresso da seguinte maneira: considere que a altura  $d$  que um corpo cai em 1 segundo está para a metade de um comprimento de um pêndulo ( $L/2$ ) de período  $T = 2$  s, assim como o quadrado da circunferência do círculo ( $2\pi r$ ). Então:

$$\frac{d}{L/2} = \frac{(2\pi r)^2}{(2r)^2} = \pi^2 \quad (16)$$

Como Huygens já havia verificado, o comprimento  $L$  de um pêndulo com período  $T = 2$  s é 3,059 pés parisienses, a distância que o corpo cai em 1 s é:

$$d = L\pi^2/2 = 15,0956 \text{ pés parisienses} \quad (17)$$

Comparando os resultados do corpo que cai sob a influência da gravidade na superfície da Terra, com aquele obtido pela força centrípeta da Lua na superfície da Terra (15,0833 pés), nota-se que os valores estão em boa concordância entre si. Com essa demonstração, Newton atinge seu objetivo: a força que mantém a Lua em sua órbita é da mesma natureza da força que acelera um corpo na superfície da Terra (Kemper, 2007, p. 46).

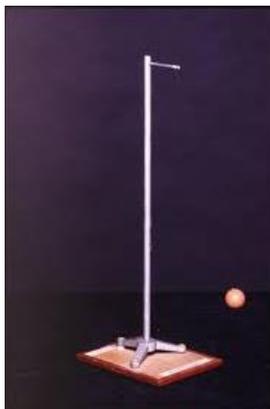
Com o objetivo de facilitar o entendimento, não seguiremos o raciocínio de Newton descrito acima, que estava apoiado nos trabalhos de Huygens, mas utilizaremos a relação direta do período de um pêndulo com o comprimento.

Apesar de ser um experimento muito conhecido, optou-se em utilizá-lo para compor a presente sequência didática, tendo em vista sua relevância para a compreensão do conceito de gravidade exercida sobre corpos terrestres. Toda atividade foi baseada no trabalho de Freire (2004) intitulado *Uma exposição didática de como Newton apresentou a Força Gravitacional*.

Objetiva-se realizar medidas do tempo de oscilação do pêndulo para fins de se calcular o valor da aceleração da gravidade e discutir as conclusões deduzidas desse cálculo, conforme descrito a seguir.

Um pêndulo é um sistema composto por uma massa acoplada a um pivô que permite sua movimentação livremente. A massa fica sujeita à força restauradora causada pela gravidade, conforme Figura 18.

**Figura 18** - Pêndulo simples

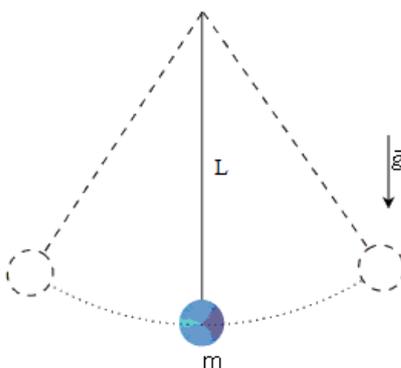


**Fonte:** Disponível em: <http://plato.if.usp.br/2-2004/fap0153d/fotos.html>. Acesso em 22/12/17

Existem vários tipos pêndulos. Estes são descritos como um objeto que permite a fácil previsão de movimentos e que também que possibilitou inúmeros avanços tecnológicos. Dentre eles têm-se pêndulos físicos, de torção, cônicos, de Foucault, duplos, espirais, de Karter e invertidos. O modelo mais simples e de maior utilização é o pêndulo simples.

Este pêndulo consiste em uma massa presa a um fio flexível e inextensível por uma de suas extremidades e livre por outra (Figura 19).

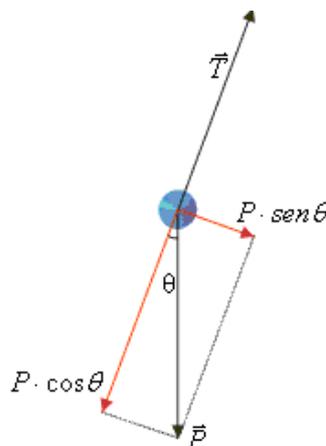
**Figura 19** – Oscilação de um pêndulo simples



**Fonte:** <http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/MHS/pendulo.php>. Acesso em 01/01/2018.

Quando afastamos a massa da posição de repouso e a soltamos, o pêndulo realiza oscilações. Ao desconsiderarmos a resistência do ar, as únicas forças que atuam sobre o pêndulo são a tensão com o fio e o peso da massa  $m$ . Desta forma:

**Figura 20** – Decomposição da força peso em um pêndulo simples



Fonte: <http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/MHS/pendulo.php>. Acesso em 01/01/2018.

A componente da força Peso que é dado por  $P \cdot \cos\theta$  se anulará com a força de tensão do fio, sendo assim, a única causa do movimento oscilatório é a  $P \cdot \sin\theta$ . Então:

$$F = P \cdot \sin\theta \quad (18)$$

No entanto, o ângulo  $\theta$ , expresso em radianos que por definição é dado pelo quociente do arco descrito pelo ângulo, que no movimento oscilatório de um pêndulo é  $x$  e o raio de aplicação do mesmo, no caso, dado por  $L$ , assim:

$$\theta = x/L \quad (19)$$

Onde ao substituírmos em  $F$ :

$$F = P \cdot \sin x/L \quad (20)$$

Assim é possível concluir que o movimento de um pêndulo simples não descreve um Movimento Harmônico Simples, já que a força não é proporcional à elongação e sim ao seno dela. No entanto, para ângulos pequenos,  $\theta \geq \pi/8$  rad, o valor do seno do ângulo é aproximadamente igual a este ângulo.

Então, ao considerarmos os casos de pequenos ângulos de oscilação:

$$F = P.\text{sen } x/L \rightarrow F = P.x/L \quad (21)$$

Como  $P = m.g$ , e  $m$ ,  $g$  e  $L$  são constantes neste sistema, podemos considerar que:

$$K = P/L = m.g/L \quad (22)$$

Então, reescrevemos a força restauradora do sistema como:

$$F = K.x \quad (23)$$

Sendo assim, a análise de um pêndulo simples nos mostra que, para pequenas oscilações, um pêndulo simples descreve um Movimento Harmônico Simples.

Como para qualquer MHS, o período é dado por:

$$T = 2\pi.(m/K)^{1/2} \quad (24)$$

e como

$$K = m.g/L \quad (25)$$

Então o período de um pêndulo simples pode ser expresso por:

$$T = 2\pi.(L/g)^{1/2} \quad (26)$$

### **Atividade Experimental**

#### **Procedimentos Experimentais**

Equipamento:

- 2 fios de NYLON de comprimentos diferente.
- 1 peso.
- Cronômetro;

Procedimentos:

A forma de proceder é simples: construa um pêndulo, usando uma linha de NYLON e o peso. Deixe o pêndulo oscilar a partir de um ângulo de  $5^\circ$ , anotando o tempo necessário

para que ele o faça 10 vezes. Dividindo-se este tempo por 10, temos o período de oscilação do pêndulo. Repita a experiência com uma linha maior. Depois calcule o valor da aceleração da gravidade de acordo com a fórmula acima.

Pêndulo 1 (comprimento menor):

<i>Comprimento do Pêndulo</i>	<i>0,3 m</i>
Medida 1	
Medida 2	
Medida 3	
Medida 4	
Medida 5	

Pêndulo 2 (comprimento maior):

<i>Comprimento do Pêndulo</i>	<i>0,6 m</i>
Medida 1	
Medida 2	
Medida 3	
Medida 4	
Medida 5	

**a)** Calcule o período do Pêndulo 1: Some os valores das 5 medidas de período obtidas com cada pêndulo e divida o resultado por 5. Isso resultará em um valor médio (e, por conseguinte, mais preciso) do período de oscilação do pêndulo (lembre-se de que cada "medida", como descrito acima, é o tempo de 10 oscilações dividido por 10, pois será muito difícil medir o tempo para 1 oscilação).

**b)** Calcule o valor da aceleração da gravidade, segundo o Pêndulo 1, conforme a fórmula deduzida no texto introdutório da aula.

**c)** Faça o mesmo para o pêndulo 2.

**d)** Compare o primeiro e o segundo resultados. Porque você acha que isto ocorreu?

## SEXTO MOMENTO (02 aulas) - Construção de mapa conceitual

Esse é o momento de finalização da sequência didática, no qual os alunos deverão elaborar individualmente ou em duplas um mapa conceitual, mostrando a evolução de seu conhecimento.

O mapa elaborado deverá conter o conceito de gravidade e sua importância para a compreensão e explicação das causas do movimento dos astros e de corpos próximos à superfície terrestre, unificando a mecânica celeste com a terrestre.

O professor deverá inicialmente explicar como elaborar um mapa conceitual, que são diagramas indicando relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos, relacionando-os e hierarquizando-os (Moreira, 2012 – p. 02).

Na elaboração do mapa conceitual, seguindo um modelo hierárquico, parte-se do conceito mais inclusivo (abrangente) para os específicos, conectando-os com termos de ligação.

Nesta etapa espera-se que o aluno tenha condições de conectar os conceitos físicos que levaram à formulação da Lei da Gravitação Universal através da evolução histórica do conceito de gravidade, mostrando a unificação dos movimentos terrestre e celeste e a compatibilidade de valores de aceleração, relacionando as forças centrípeta e gravitacional.

Partindo das ideias de Aristóteles acerca da queda dos corpos e apontando as possíveis incoerências ao comparar se as ideias de Galileu, espera-se que o aluno estabeleça conexões que permita associar a evolução destes conceitos com a unificação da aceleração da gravidade proposta e comprovada por Isaac Newton.

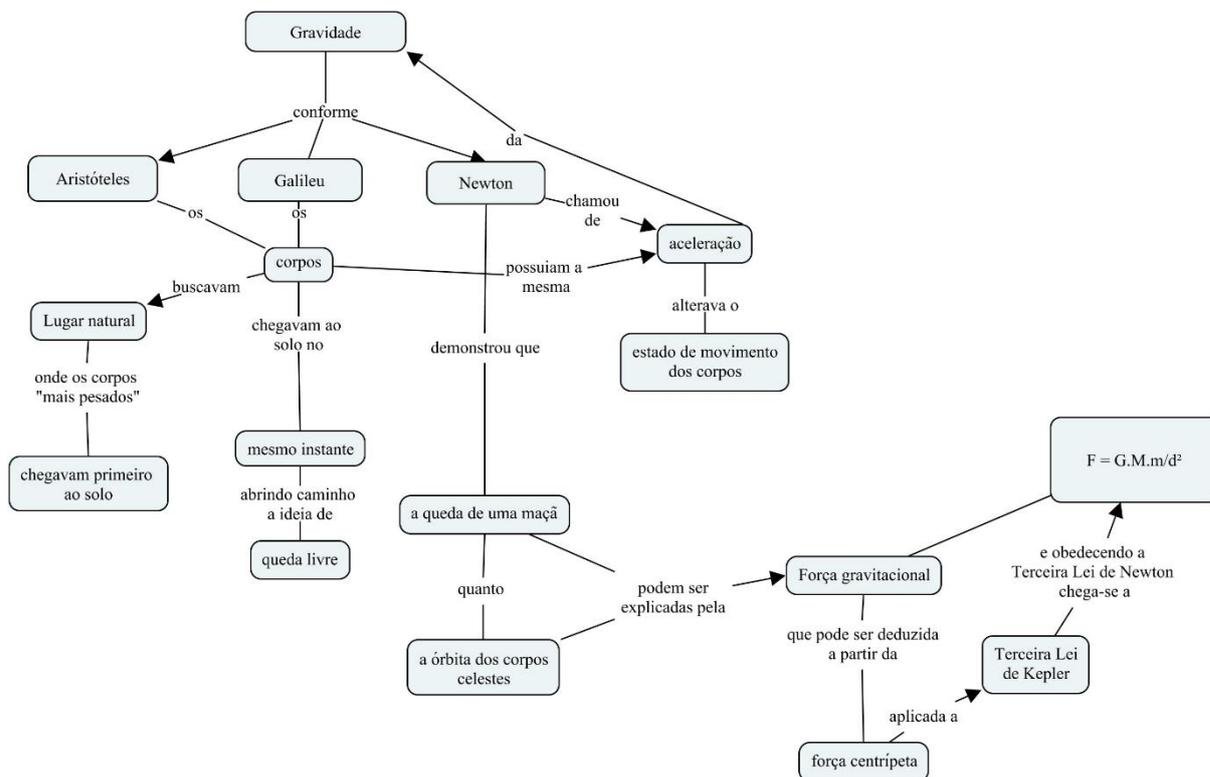
A Figura 21 apresenta um mapa conceitual elaborado pelo autor da pesquisa com o auxílio do programa *CMap Tools*<sup>18</sup>, sem a pretensão de ser o “mapa correto” (MOREIRA, 2012)<sup>19</sup>, o qual serviu de base para a análise dos modelos mentais de trabalho explicitados nos mapas conceituais elaborados pelos alunos.

---

<sup>18</sup> O programa *CMap Tools* pode ser acessado pelo site: <http://www.cmap.ihmc.us>.

<sup>19</sup> MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa em Mapas Conceituais. Textos de apoio ao professor de física. Marco Antonio Moreira, Eliane Angela Veit, ISSN 1807-2763; v. 24 , n.6. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013. 55 p.

**Figura 21** – Exemplo de Mapa Conceitual



**Fonte:** O autor (2017)

### SÉTIMO MOMENTO – Avalie a sequência didática

Selecione alguns alunos para a realização de uma entrevista (em horário extraclasse). Busque avaliar os aspectos positivos e negativos da sequência didática. Nesta etapa espera-se que os alunos entrevistados exponham suas opiniões acerca do produto propriamente dito, apontando possíveis melhorias.

#### **Entrevista**

a) Quais foram os pontos positivos desta sequência didática? E os pontos negativos?

b) Você gostaria de fazer alguma sugestão para a melhoria desta sequência didática?

**Apêndice B – Material do Aluno****CIEP 141 Vereador Said Tanus José – Italva/RJ.**

Aluno(a):	Ano: 1º	Turma: 1001
Professor: Fabiano Romero Barbosa Conrado	Disciplina: Física	Data: / /2017

*Atividade 1*

Elabore um mapa mental com as ideias de Aristóteles e Galileu Galilei acerca da gravidade.

**Espaço para a confecção do mapa mental**

A seguir será exibido um trecho editado do documentário intitulado “O Universo – Gravidade (History)”, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=hEMnT5P2agI>.



Aluno(a):	Ano: 1º	Turma: 1001
Professor: Fabiano Romero Barbosa Conrado	Disciplina: Física	Data: / /2017

## *Atividade 2*

Pesquise em livros didáticos, enciclopédias, livros de divulgação, na internet, etc. versões do episódio da queda da maçã.

Agora, responda às seguintes questões:

**a)** O que Newton pensava na época em que, supostamente viu a maçã cair (ou quando a maçã caiu sobre sua cabeça)?

**b)** Qual seria sua concepção acerca da gravidade?

**c)** Será que foi Newton o primeiro a pensar a respeito da queda dos corpos?

**d)** Qual seria a relação entre o movimento da queda da maçã e o movimento dos corpos celestes?

e) Ilustre o que você pesquisou e apresente suas conclusões aos colegas.



Aluno(a):	Ano: 1º	Turma: 1001
Professor: Fabiano Romero Barbosa Conrado	Disciplina: Física	Data: / /2017

## *Atividade 3*

Nesta aula será utilizada uma adaptação do texto sobre o episódio da queda da maçã de Isaac Newton, relatado no capítulo IX (p.167-189) do livro Estudos de História e Filosofia das Ciências, de autoria de Martins (2006), como organizador prévio da aprendizagem. Em seguida, os alunos responderão a um questionário comparando as ideias de Aristóteles, Galileu e Newton, apontando as possíveis diferenças entre suas concepções acerca da gravidade. As respostas dadas pelos alunos indicariam os conceitos relativos aos modelos mentais de trabalho.

**Texto: A maçã de Newton: História, lendas e tolices (Roberto de Andrade Martins) - adaptado**

### **Introdução**

O episódio da queda da maçã teria ocorrido durante a juventude de Isaac Newton (1642-1727). Ele iniciou seus estudos no *Trinity College*, em Cambridge, em 1661. Quatro anos depois obteve o título de “bacharel em artes” e permaneceu em Cambridge, para prosseguir seus estudos. No entanto, no outono de 1665 a Grande Praga atingiu a Inglaterra. A Universidade foi fechada, os alunos se dispersaram e Newton abandonou a cidade, retornando a propriedade rural de Woolsthorpe, onde havia nascido e onde a avó o havia criado. Lá passou quase todo o tempo (18 meses), até a primavera de 1667, quando a peste havia desaparecido e foi possível retornar a Cambridge.

Foi nos dois “anos maravilhosos”, de 1665 a 1667, que Newton iniciou alguns de seus trabalhos científicos mais relevantes de sua vida como “binômio de Newton”, e desenvolveu importantes ideias sobre a gravidade. A anedota sobre a maçã de Newton se refere exatamente ao tempo em que ele passou na fazenda de Woolsthorpe – mais exatamente no ano de 1666. Há várias versões antigas desse suposto acontecimento, que serão descritas a seguir.

### **Houve realmente o episódio da maçã ?**

Newton deixou, ao morrer, uma vasta quantidade de manuscritos. No entanto, jamais foi encontrada qualquer descrição sua a respeito da queda da maçã.

Sabemos, no entanto, que Newton descreveu esse episódio para algumas pessoas, quando já era idoso. Um desses testemunhos foi registrado por William Stukeley, membro da *Royal Society* e amigo pessoal de Newton, que completou em 1752 as “Memórias da vida de Sir Isaac Newton”, que só foram publicadas no séculos XX. Nesse manuscrito encontramos o seguinte relato referente à visita que Stukeley fizera a Newton em 15 de abril de 1726:

*“[...] Depois do almoço, como o tempo estava quente, fomos ao jardim e tomamos chá sob a sombra de algumas macieiras, somente ele e eu. Entre outras coisas, disse-me que ele estava exatamente na mesma situação em que, muito tempo atrás, a ideia da gravitação veio à sua mente. “Por que uma maçã deve sempre descer verticalmente ao solo ?” pensou ele consigo mesmo, por ocasião da queda de uma maçã enquanto ele estava sentado em uma atitude contemplativa.”*

(Stukeley, Royal Society MS. 142, fol. 14, citado por McKie & Beer 1951, pp 52-53).

A história da maçã foi publicada pela primeira vez por Voltaire, ano da morte de Newton (1727). Voltaire passou alguns anos na Inglaterra, nessa época. Ele se interessava muito pelo pensamento de Newton e o visitou, antes de seu falecimento. Conversou também com Catherine Barton, sobrinha de Newton que cuidava do tio. Catherine lhe contou a história da maçã, que Voltaire publicou em diversas de suas obras.

Outra fonte da história da maçã é John Conduitt, uma pessoa que trabalhava com Newton na Casa da Moeda Inglesa e que, depois, se casou com Catherine. O relato de Conduitt permaneceu manuscrito, como o de Stukeley.

Nenhum desses relatos mais antigos diz que a maçã teria caído na cabeça de Newton, nem que ele estava deitado ou adormecido. Todos concordaram que Newton estaria pensativo no jardim da fazenda de sua mãe em Woolsthorpe, que a maçã teria desencadeado uma série de ideias. No entanto, a descrição dessas ideias varia, de uma versão para outra.

Posteriormente, a história da maçã foi sofrendo acréscimos e distorções. Uma versão divulgada por Leonhard Euler, em 1760, descreveu que Newton estava dormindo sob uma macieira e que a maçã caiu na sua cabeça.

### **O que Newton pensou ao ver a maçã cair ?**

A descrição de Conduitt indica que teria ocorrido uma *mudança de concepção*, quando “surgiu em sua mente que o poder da gravidade (que trouxera uma maçã da árvore ao solo) não estava limitado a uma certa distância da Terra.” Ou seja, Newton (como todos) associava a queda da maçã à gravidade, mas começo a pensar que a gravidade existia não apenas perto da Terra, mas também a grandes distâncias (talvez até a Lua)

Vamos partir da descrição que foi conservada por John Conduitt:

*“No ano de 1666 ele novamente se retirou de Cambridge [...] para (a fazenda) de sua mãe em Lincolnshire e enquanto estava meditando em um jardim surgiu em sua mente que o poder da gravidade (que trouxera uma maçã da árvore ao solo) não estava limitado a uma certa distância da Terra mas que esse poder deve se estender muito mais longedo que se pensava usualmente. “Por quê não até a altura da Lua – disse ele a si próprio – e se assim é, deve influenciar seu movimento e talvez retê-la em sua órbita.”*

(Conduit, citado por Westfall, p 154).

De acordo com a descrição de Conduitt, Newton conjecturou que a gravidade poderia ter um enorme alcance. Essa é exatamente nossa concepção – porém não era algo tão óbvio assim. Os pensadores anteriores a Newton não haviam chegado a essa ideia.

Primeiramente, vamos compreender essa concepção. Se prendermos uma pedra ou qualquer outra coisa pesada a um barbante e fizermos esse objeto girar rapidamente, vamos sentir uma força no cordão. Nós precisamos puxar o cordão para que a pedra gire em torno de nossa mão . Se pararmos de fazer força (por exemplo, largando o cordão), a pedra deixará de ter um movimento circular em torno de sua mão e se afastará, movendo-se inicialmente na direção tangencial.

Para nós (e para Newton), se não existisse nenhuma força agindo sobre a Lua, ela se moveria em linha reta e se afastaria da Terra. Como ela não se afasta, isso indica que há uma força agindo sobre ela, que a mantém presa à Terra. Se a descrição de Conduitt estiver correta, foi naquela ocasião, na fazenda de Woolsthorpe, que Newton percebeu isso.

Há, é claro, um pré-requisito: Newton já precisava aceitar a lei da inércia, ou algo semelhante. Essa ideia havia sido apresentada claramente por Descartes.

Sabemos, pelos cadernos de anotações que Newton mantinha, que antes do período em que se retirou para Woolsthorpe ele leu por conta própria várias obras importante de Matemática, Astronomia e Filosofia que lhe deram uma excelente base sobre suas pesquisas posteriores. Ele leu uma tradução inglesa do “Diálogo sobre os maiores sistemas do mundo, Ptolomaico e Copernicano”, de Galileu Galilei, onde se encontra uma boa argumentação

mostrando que a Lua e a Terra são de naturezas semelhantes.. e foi lendo os *Princípios de Filosofia* de René Descartes que Newton obteve alguns dos pré-requisitos para a ideia que teve ao ver a maçã cair.

**Figura 1** – Mão segurando e girando uma funda onde está uma pedra

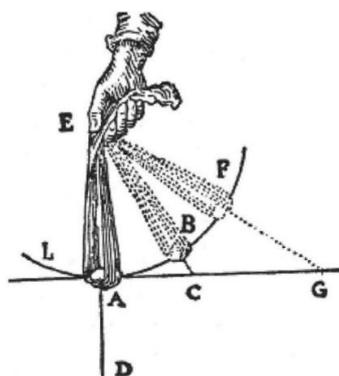


Imagem disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172015000101602](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172015000101602)

Vejamos a figura acima da obra de Descartes. Uma mão segura e gira uma funda, onde está uma pedra. Se a mão não segurasse a funda, a pedra seguiria em linha reta e se afastaria da mão. O efeito do puxão que é efetuado pela pessoa faz com que a pedra se desvie da reta e siga a trajetória circular.

Foi essa ideia que Newton aplicou à Lua. A Lua não é um corpo diferente da Terra, é da mesma natureza - e portanto, é como uma pedra. Se nada agisse sobre a Lua, ela se moveria em linha reta. Há alguma coisa que a desvia da sua trajetória retilínea e a mantém presa à Terra. Essa coisa pode ser a mesma gravidade que faz com que as maçãs caiam.

### Atividade 03

O texto acima, extraído e adaptado do capítulo IX do livro Estudos de História e Filosofia das Ciências, de autoria de Martins (2006), relata o possível episódio da queda da maçã de Isaac Newton. Após a leitura do texto, compare as ideias de Aristóteles, Galileu e Newton, apontando as possíveis diferenças entre suas concepções acerca da gravidade.

Aristóteles	Galileu Galilei	Isaac Newton
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____





Aluno(a):	Ano: 1º	Turma: 1001
Professor: Fabiano Romero Barbosa Conrado	Disciplina: Física	Data: / /2017

## *Atividade 4*

Nesta etapa, será calculada a aceleração centrípeta da Lua à distância de sua órbita atual (dado nas tabelas 01 e 02)). A seguir será determinada a aceleração da Lua na superfície da Terra, adotando a proporcionalidade entre força e aceleração, imaginando que a Lua caiu na direção da Terra. Como Newton já havia demonstrado, em proposições no Livro I, uma força centrípeta capaz de gerar movimentos circulares ou elípticos, e cujos movimentos obedecem à Terceira Lei de Kepler, deve ser proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da circunferência, ele pode afirmar que na superfície da Terra esta força sobre a Lua será  $60^2$  vezes maior que na órbita da Lua, uma vez que estamos assumindo a distância média da Lua à Terra ser de 60 raios terrestres.

### Atividades

a) Calcule a aceleração centrípeta da Lua à distância de sua órbita atual (60 raios terrestres nas sizígias):

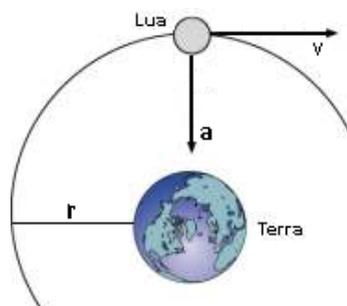


Tabela 1:

Distância média da Lua à Terra = raio de órbita da Lua. 60 raios terrestres $\rightarrow R = 60r$ .
Período de revolução da Lua $\rightarrow P = 27$ dias 7 horas 43 minutos.
Circunferência da Terra $\rightarrow c = 2\pi r = \pi d \rightarrow d = c/\pi$ , logo, $d = 123249600/\pi \rightarrow d = 39231500$ pés parisienses.
Circunferência da órbita da Lua $\rightarrow C = 2\pi R$ ; $R = 60r$ ; $C = 2\pi(60r) = 60(2\pi r) \rightarrow C = 60c \rightarrow C = 60 \times 123249600 = 7394976000$ pés parisienses.
Diâmetro da órbita da Lua: $D = 60d = 60 \times 39231500$ pés parisienses.
Conversões:

1 pé parisiense = 0,3248 metros  
 12 “linhas” parisienses = 1 polegada parisiense

Tabela 2:

Distância média da Lua à Terra = raio de órbita da Lua (R): aproximadamente 60 raios terrestres:	$R = 60 r = 3,82 \cdot 10^8 \text{ m}$
Período de revolução da Lua (P)	$P = 27,3 \text{ dias} = 2358720 \text{ s}$
Circunferência da Terra (c)	$c = 4 \cdot 10^7 \text{ m}$
Diâmetro da Terra (d)	$d = 12740000 \text{ m}$
Circunferência da Órbita da Lua (C)	$C = 2,4 \cdot 10^9 \text{ m}$
Diâmetro da órbita da Lua (D)	$D = 7,64 \cdot 10^8 \text{ m}$

**b)** Nos Princípios, Newton não expressou a aceleração da Lua em unidades do sistema MKS. De acordo com os cálculos efetuados, os resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Newton?

**c)** Agora vamos imaginar que a Lua caiu na direção da Terra. Como Newton já havia demonstrado, em proposições no Livro I, uma força centrípeta capaz de gerar movimentos circulares ou elípticos, e cujos movimentos obedecem à Terceira Lei de Kepler, deve ser proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da circunferência, ele pode afirmar que na superfície da Terra esta força sobre a Lua será  $60^2$  vezes maior que na órbita da Lua, uma vez que estamos assumindo a distância média da Lua à Terra ser de 60 raios terrestres. Adotando a proporcionalidade entre força e aceleração, determine a aceleração da Lua na superfície da Terra.

**c)** Analisando os resultados, a que conclusão você chegou?



Aluno(a):	Ano: 1º	Turma: 1001
Professor: Fabiano Romero Barbosa Conrado	Disciplina: Física	Data: / /2017

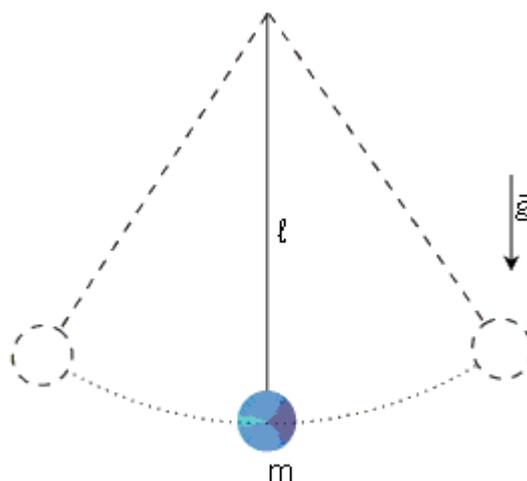
## Atividade 5

Na atividade a seguir, não seguiremos o raciocínio de Newton, que estava apoiado nos teoremas de Huygens, mas utilizaremos uma atividade experimental que consiste na medida do módulo da gravidade com a ajuda de um pêndulo simples.

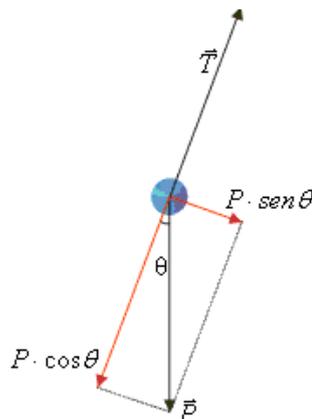
Um pêndulo é um sistema composto por uma massa acoplada a um pivô que permite sua movimentação livremente. A massa fica sujeita à força restauradora causada pela gravidade.

Existem inúmeros pêndulos estudados por físicos, já que estes descrevem-no como um objeto de fácil previsão de movimentos e que possibilitou inúmeros avanços tecnológicos, alguns deles são os pêndulos físicos, de torção, cônicos, de Foucault, duplos, espirais, de Karter e invertidos. Mas o modelo mais simples, e que tem maior utilização é o pêndulo simples.

Este pêndulo consiste em uma massa presa a um fio flexível e inextensível por uma de suas extremidades e livre por outra, representado da seguinte forma:



Quando afastamos a massa da posição de repouso e a soltamos, o pêndulo realiza oscilações. Ao desconsiderarmos a resistência do ar, as únicas forças que atuam sobre o pêndulo são a tensão com o fio e o peso da massa  $m$ . Desta forma:



A componente da força Peso que é dado por  $P \cdot \cos\theta$  se anulará com a força de tensão do fio, sendo assim, a única causa do movimento oscilatório é a  $\mathbf{P \cdot \text{sen}\theta}$ . Então:

$$F = \mathbf{P \cdot \text{sen}\theta}$$

No entanto, o ângulo  $\theta$ , expresso em radianos que por definição é dado pelo quociente do arco descrito pelo ângulo, que no movimento oscilatório de um pêndulo é  $x$  e o raio de aplicação do mesmo, no caso, dado por  $\ell$ , assim:

$$\theta = x/\ell$$

Onde ao substituírmos em F:

$$F = P \cdot \text{sen } x/\ell$$

Assim é possível concluir que o movimento de um pêndulo simples não descreve um MHS, já que a força não é proporcional à elongação e sim ao seno dela. No entanto, para ângulos pequenos,  $\theta \geq \pi/8$  rad, o valor do seno do ângulo é aproximadamente igual a este ângulo.

Então, ao considerarmos os casos de pequenos ângulos de oscilação:

$$F = P \cdot \text{sen } x/\ell \rightarrow F = P \cdot x/\ell$$

Como  $P = m \cdot g$ , e  $m$ ,  $g$  e  $\ell$  são constantes neste sistema, podemos considerar que:

$$K = P/\ell = m \cdot g/\ell$$

Então, reescrevemos a força restauradora do sistema como:

$$F = K \cdot x$$

Sendo assim, a análise de um pêndulo simples nos mostra que, para pequenas oscilações, um pêndulo simples descreve um MHS.

Como para qualquer MHS, o período é dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}$$

e como

$$K = m \cdot g/l$$

Então o período de um pêndulo simples pode ser expresso por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{m \cdot g}} \cdot \ell$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

## Atividade

### Procedimentos Experimentais

Equipamento:

- 2 fios de NYLON de comprimentos diferente.
- 1 peso.
- Cronômetro;

### **Procedimentos:**

A forma de proceder é simples: construa um pêndulo, usando uma linha de NYLON e o peso. Deixe o pêndulo oscilar a partir de um ângulo de 5°, anotando o tempo necessário para que ele o faça 10 vezes. Dividindo-se este tempo por 10, temos o período de oscilação do pêndulo. Repita a experiência com uma linha maior. Depois calcule o valor da aceleração da gravidade de acordo com a fórmula acima.

Pêndulo 1 (comprimento menor):

<i>Comprimento do Pêndulo</i>	<i>0,3 m</i>
Medida 1	
Medida 2	
Medida 3	
Medida 4	
Medida 5	

Pêndulo 2 (comprimento maior):

<i>Comprimento do Pêndulo</i>	<i>0,6 m</i>
Medida 1	
Medida 2	

Medida 3	
Medida 4	
Medida 5	

a) Calcule o período do Pêndulo 1: Some os valores das 5 medidas de período obtidas com cada pêndulo e divida o resultado por 5. Isso resultará em um valor médio (e, por conseguinte, mais preciso) do período de oscilação do pêndulo (lembre-se de que cada "medida", como descrito acima, é o tempo de 10 oscilações dividido por 10, pois será muito difícil medir o tempo para 1 oscilação).

b) Calcule o valor da aceleração da gravidade, segundo o Pêndulo 1, conforme a fórmula deduzida no texto introdutório da aula.

c) Faça o mesmo para o pêndulo 2.

d) Compare o primeiro e o segundo resultados. Porque você acha que isto ocorreu?



Aluno(a):	Ano: 1º	Turma: 1001
Professor: Fabiano Romero Barbosa Conrado	Disciplina: Física	Data: / /2017

## *Atividade 6*

Construa um mapa conceitual mostrando a evolução do conceito de gravidade e a sua importância para a compreensão e explicação das causas do movimento dos astros e de corpos próximos à superfície terrestre.

**Espaço para a confecção do mapa conceitual**



Aluno(a):

Ano: 1º

Turma: 1001

Professor: Fabiano Romero Barbosa Conrado

Disciplina: Física

Data: / /2017

## *Atividade 7*

### **Entrevista**

a) Quais foram os pontos positivos desta sequência didática? E os pontos negativos?

b) Você gostaria de fazer alguma sugestão para a melhoria desta sequência didática?