

## 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

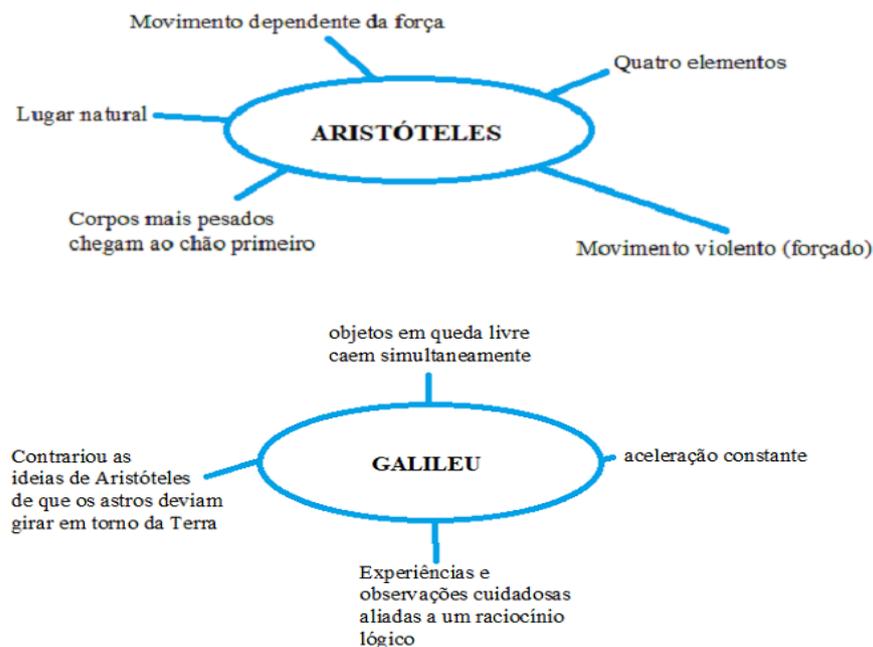
1º Momento: Identificação dos conhecimentos prévios.....	04
2º Momento: Representação pictográfica do episódio.....	13
3º Momento: Pseudos-organizadores prévios.....	14
4º Momento: A síntese newtoniana.....	19
5º Momento: Experimento do pêndulo simples.....	24
6º Momento: Construção do mapa conceitual.....	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>1</sup>.

<sup>1</sup> Documentário disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=hEMnT5P2agI>.

**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 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.



Fonte<sup>17</sup>

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

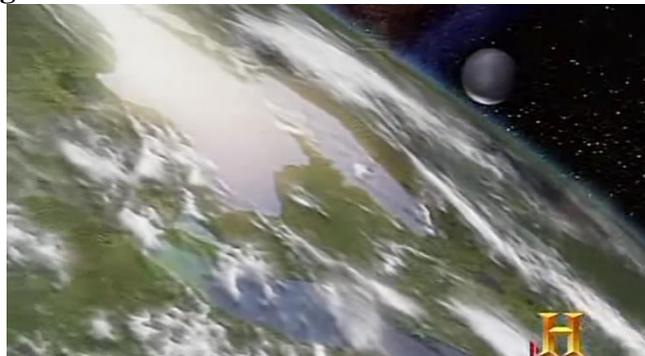


Fonte<sup>17</sup>

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



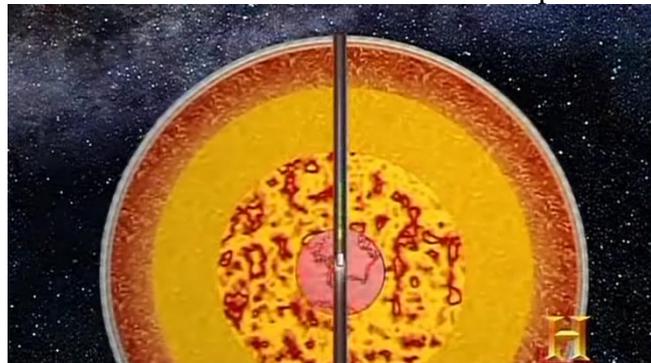
Fonte<sup>17</sup>

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



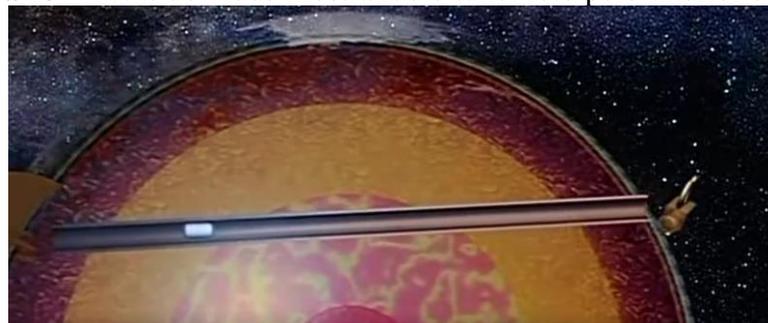
Fonte<sup>17</sup>

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. 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.

*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 subsunções 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 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. 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

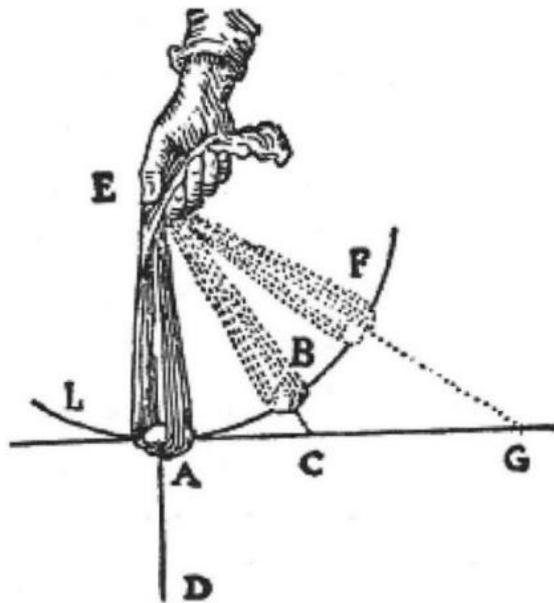


Imagem disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172015000101602](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172015000101602)

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

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

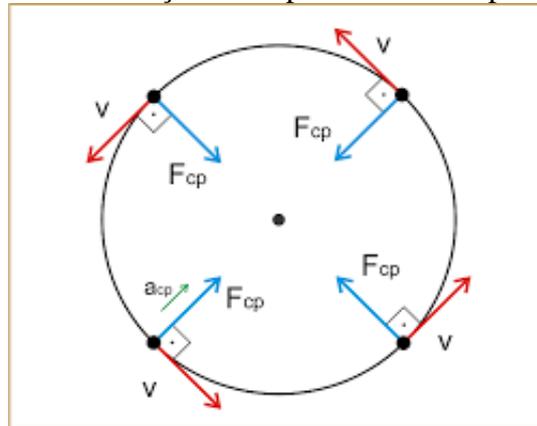
e substituindo  $T^2$  por  $K \cdot R^3$ , obtemos:

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

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  $F_c$ .

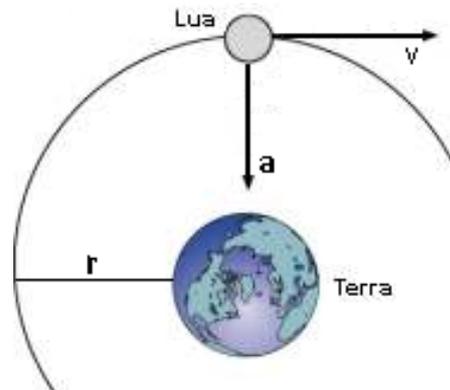
**Figura 16** – Força centrípeta e aceleração centrípeta sobre uma partícula em órbita circular.



**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  $15 \frac{1}{12}$  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 $\rightarrow P = 27$ 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)	$D = 7,64 \cdot 10^8 \text{ m}$

## 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).

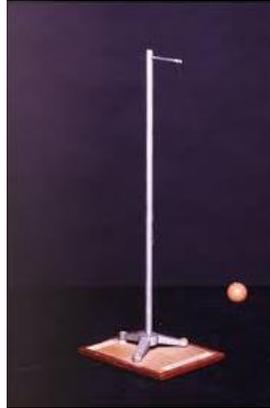
Com o objetivo de facilitar o entendimento, não seguiremos o raciocínio de Newton descrito acima, que estava apoiado nos trabalhos de Huygens, mas utilizaremos a relação direta do período de um pêndulo com o comprimento.

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

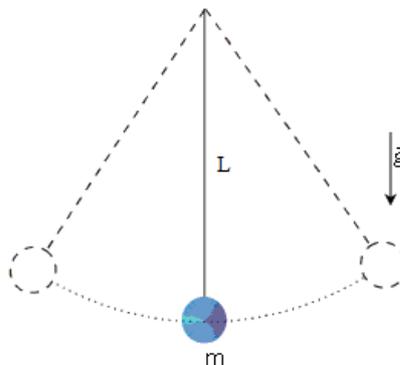


**Fonte:** Disponível em: <http://plato.if.usp.br/2-2004/fap0153d/fotos.html>. Acesso em 22/12/17

Existem vários tipos de pêndulos. Estes são descritos como um objeto que permite a fácil previsão de movimentos e que também possibilitou inúmeros avanços tecnológicos. Dentre eles têm-se pêndulos físicos, de torção, cônicos, de Foucault, duplos, espirais, de Kater 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).

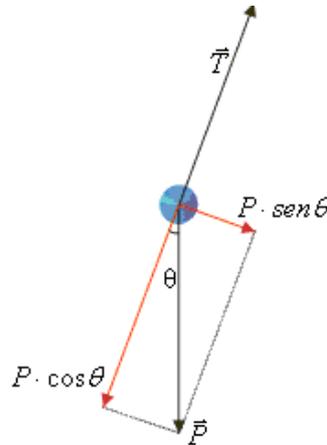
**Figura 19** – Oscilação de um pêndulo simples



**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.

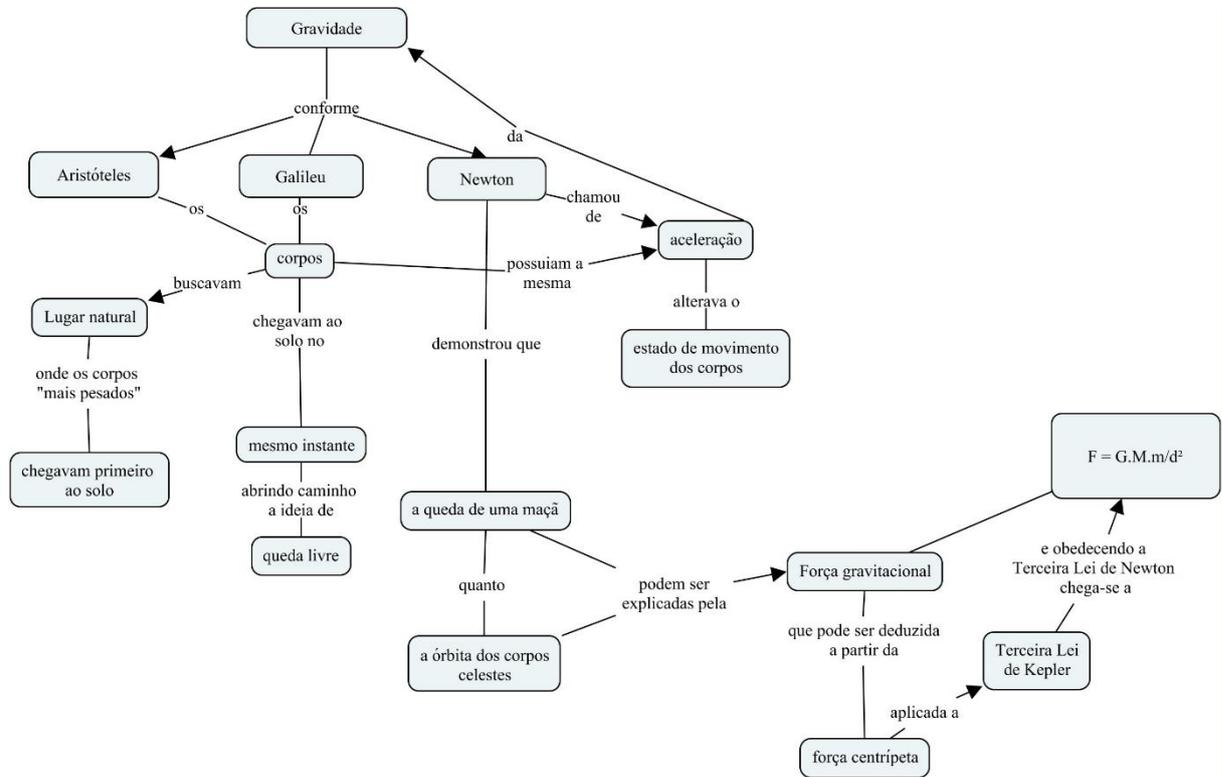
A Figura 21 apresenta um mapa conceitual elaborado pelo autor da pesquisa com o auxílio do programa *CMap Tools*<sup>2</sup>, sem a pretensão de ser o “mapa correto” (MOREIRA, 2012)<sup>3</sup>, o qual serviu de base para a análise dos modelos mentais de trabalho explicitados nos mapas conceituais elaborados pelos alunos.

---

<sup>2</sup> O programa *CMap Tools* pode ser acessado pelo site: <http://www.cmap.ihmc.us>.

<sup>3</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:

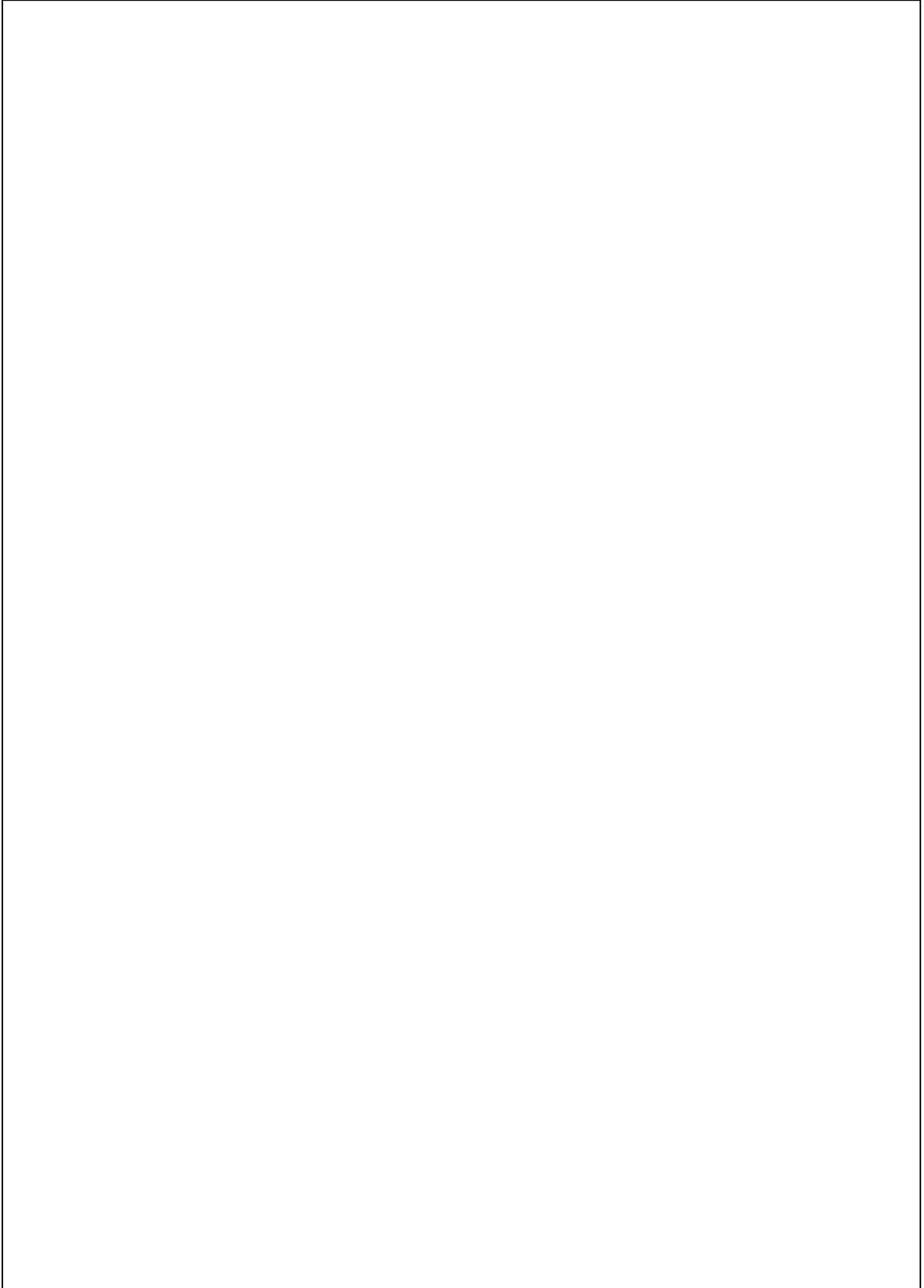
**a)** O que Newton pensava na época em que, supostamente viu a maçã cair (ou quando a maçã caiu sobre sua cabeça)?

**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.

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the student to illustrate their research and present their conclusions to their peers.



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 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 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.”*

(Conduitt, 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 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 1** – Mão segurando e girando uma funda onde está uma pedra

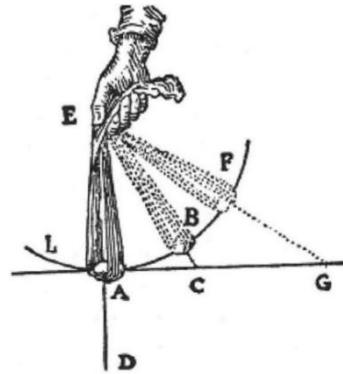


Imagem disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172015000101602](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172015000101602)

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 Conrrado	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):

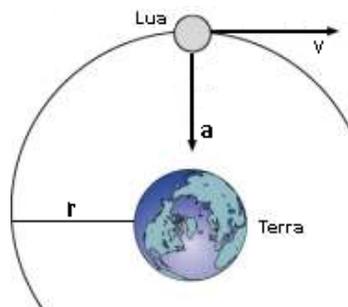


Tabela 1:

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 Conrrado	Disciplina: Física	Data: / /2017

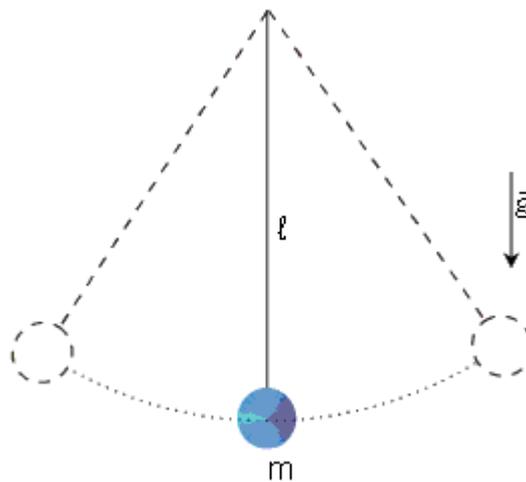
## Atividade 5

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.

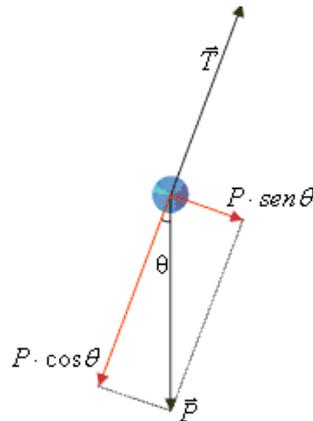
Um pêndulo é um sistema composto por uma massa acoplada a um pivô que permite sua movimentação livremente. A massa fica sujeita à força restauradora causada pela gravidade.

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  $P \cdot \text{sen}\theta$ . Então:

$$F = P \cdot \text{sen}\theta$$

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

$$K = m \cdot g/\ell$$

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

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{m \cdot g}}$$

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

## 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?