

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

ANDRÉ DA COSTA MARTINS

TEXTO DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA:
**ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL: UMA PROPOSTA DE
ABORDAGEM COM OBJETIVO DE VIABILIZAR SUA
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Texto de apoio orientado pelo Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

MARINGÁ – 2016

APRESENTAÇÃO

O presente produto educacional apresenta-se como uma ferramenta, a disposição do Professor de Física e áreas afins, para que o mesmo possa lecionar sobre questões relativas à aceleração gravitacional. Aspectos históricos sobre o movimento dos corpos, a variação, seu cálculo por meio da utilização de equações, bem como a realização de experimento do pêndulo simples, são apresentados com o objetivo de viabilizar a aprendizagem significativa destas questões aqui tratadas.

A utilização deste material serve como uma forma de propiciar condições para que o aluno vivencie, na prática, um experimento teoricamente simples, entretanto, rico em informações que pode favorecer o desenvolvimento da capacidade cognitiva do aluno.

A elaboração do presente produto foi baseada nas aulas teóricas e experimentais, realizadas com alunos em fase pré-vestibular, quando foi possível constatar questões relevantes relacionadas ao tema que servem de exemplo para que o Professor possa trabalhar o tema aqui proposto de forma menos rígida com a finalidade de favorecer a aprendizagem do aluno.

Além das questões históricas e teóricas sobre a aceleração gravitacional, o presente material é composto por roteiro para realização do experimento do pêndulo simples, questionários que podem ser aplicados previamente e posteriormente ao experimento, mapas conceituais que evidenciam relações entre conceitos e grandezas físicas, ilustrações em forma de quadrinhos e sugestões de aspectos relacionados à aceleração gravitacional que podem ser abordados pelo Professor tanto na realização do experimento como em aulas teóricas sobre a aceleração gravitacional.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	1
1. ASPECTOS HISTÓRICOS	3
1.1 A antiguidade.....	3
1.2 O período medieval.....	6
1.3 Sobre os ombros de gigantes.....	9
2. ASPECTOS FÍSICOS	12
2.1 A apreciação da gravidade.....	12
2.2 A aceleração gravitacional, suas aproximações e unidades.....	12
2.3 A variação de acordo com a altura em relação à superfície terrestre.....	14
2.4 A forma da Terra e interferências no valor da gravidade.....	16
2.5 O cálculo do valor da aceleração gravitacional.....	17
3. ROTEIRO EXPERIMENTAL	21
4. QUESTIONÁRIOS	23
4.1 Questionário prévio.....	24
4.2 Questionário posterior.....	24
5. MAPAS CONCEITUAIS	25
6. ILUSTRAÇÕES EM FORMA DE QUADRINHOS	28
7. SÍNTESE FINAL	34
8. REFERÊNCIAS	34

1. ASPECTOS HISTÓRICOS

A concepção histórica não apenas do tema em questão, mas da Ciência, representa, segundo Resquetti e Neves (2011), papel fundamental para a compreensão conceitual da ciência moderna, ao fornecer informações a respeito do *status* dos conceitos e teorias científicas desenvolvidos em vários momentos da história. Conhecendo as dificuldades encontradas pelos homens da ciência para elaborar a teoria do movimento dos corpos, podemos compreender as dificuldades que ainda hoje encontramos no ensino-aprendizagem desse tema. Desta forma, é essencial destacar aspectos importantes dos estudos realizados acerca dos movimentos desde a antiguidade com Aristóteles, passando pelo Renascimento com Leonardo da Vinci e Galileu até chegar em Newton, no século XVII.

1.1 A antiguidade

Partindo da antiguidade, Cherman e Mendonça (2010) afirmam que Aristóteles de Estagira (384 a.C – 322 a.C) pode ser considerado um dos pilares da história da gravidade, pois apesar de seu trabalho não representar a realidade atual, o conhecimento nele difundido perdurou por muitos séculos após a sua morte.

Cohen (1988) citado por Resquetti e Neves (2011, p. 22) afirma que “a física aristotélica é denominada, frequentemente, como a ‘Física do senso comum’”. Aristóteles, sem a aplicação de medidas e interpretações matemáticas, construiu um modelo de mundo analisando naturalmente o que se passava em seu cotidiano.

Ainda Resquetti e Neves (2011) expõem que na visão aristotélica, em todo movimento, há dois fatores principais: a força motriz (F) e a força de resistência (R). Sendo que somente ocorre movimento quando a força motriz é maior que a de resistência, ou seja:

$$F > R .$$

Ao utilizar meios diferentes como ar, água, álcool, óleo, entre outros, é possível observar que a velocidade de queda de um corpo de massa m a uma mesma altura, nos diferentes meios, não é a mesma. Quanto maior a resistência, menor a velocidade, ou seja, a velocidade do corpo é inversamente proporcional à resistência:

$$v \propto 1/R .$$

Em um mesmo local, ao utilizar outro corpo de massa maior M , a força peso atuante sobre ele é maior que a força peso atuante no corpo de massa m . E, ao realizar o experimento anterior, é possível observar que quanto maior a força atuante no corpo, maior a velocidade com que o corpo termina seu movimento, ou seja:

$$v \propto F .$$

Combinadas as duas equações anteriores temos:

$$v \propto F/R ,$$

ou seja, a velocidade de um corpo é proporcional à força motriz e inversamente proporcional à resistência do meio.

Resquetti e Neves (2011) evidenciam que a expressão anterior é conhecida como a lei aristotélica do movimento, mesmo que Aristóteles não tenha escrito suas conclusões na forma de expressões matemáticas, a referida expressão traduz o pensamento do mesmo sobre o movimento.

Analisando as expressões matemáticas apresentadas e seus significados, segundo Aristóteles, para haver movimento, a força motriz deve ser maior do que a de resistência ($F > R$). Segundo o pensamento aristotélico, se a força motriz é igual à força de resistência ($F = R$), não há movimento, ou seja a velocidade é nula. Entretanto, a expressão que relaciona a velocidade, força motriz e força de resistência ($v \propto F/R$) evidencia que se as forças são iguais, o valor da velocidade será diferente de zero, ou seja, há movimento sim. O mesmo acontece para quando a força de resistência é maior que a força motriz ($F < R$), visto que a razão entre as duas referidas forças não será zero.

Embasados nessa explanação, Resquetti e Neves (2011) afirmam que a lei aristotélica não é uma afirmação universal das condições do movimento.

Neves (2005) evidencia que a dinâmica aristotélica mostra a impossibilidade do movimento no vácuo, pois não haveria resistência do meio e, neste caso, a velocidade de deslocamento do corpo que possui uma força atuante sobre si seria infinita.

É interessante ressaltar que, como afirmam Dias *et alli* (2004), para Aristóteles, o universo não apresentava espaços vazios, pois o pensador acreditava que o que seria possível de existir, seria a matéria, e a ideia de vácuo seria a aceitação de que algo é composto de nada.

Ainda Dias *et alli* (2004) enfatizam a visão aristotélica sobre a questão:

Como a resistência no espaço vazio é zero, a velocidade de qualquer corpo no vácuo seria infinita e um corpo cairia instantaneamente, em contradição com o fato de que corpos mais pesados caem mais rapidamente. A fórmula parece levar a um absurdo, a menos que se negue a existência do vácuo, em cujo caso o raciocínio não se aplicaria (DIAS *et alli*, 2004, p.259).

“Assim, esta afirmação da inexistência do vazio ganhou status de princípio, chamado de "horror do vácuo": a Natureza sempre agia no sentido de evitar a formação de vácuo” (PORTO, 2009, p.4).

Aparentemente, a concepção aristotélica parece explicar razoavelmente alguns acontecimentos do cotidiano, e por isso ainda perdura nos dias de hoje, fora da academia, de forma semelhante ao senso comum no que se diz respeito ao movimento. Atualmente, segundo Resquetti e Neves (2011), alguém sem conhecimento científico é guiado normalmente pela intuição e essa concepção pouco crítica é resultado da tradição de uma determinada época, local ou grupo social.

É comum, ainda hoje, encontrarmos pessoas que apresentam noções a respeito do movimento semelhantes às concepções propostas por Aristóteles. São incapazes de explicar fenômenos físicos que ocorrem no dia a dia segundo uma descrição galileano-newtoniana. “Em particular, esse mal

entendido da Física tende a centralizar-se no problema da queda dos corpos, no conceito geral do movimento” (COHEN, 1988 *apud* RESQUETTI e NEVES, 2011, p.28).

Apesar de ter sido considerada como válida por muito tempo, a física aristotélica do movimento dos corpos sofreu objeções que acabaram moldando tal teoria através dos trabalhos e estudos de críticos e seguidores de Aristóteles, tanto ainda na antiguidade como também no período medieval.

Ainda Resquetti e Neves (2011) afirmam que a teoria do *impetus*, introduzida por Hiparco (190 a.C – 120 a.C) e reinventada por Johannes Philoponus (490 – 570), ambos críticos de Aristóteles, bem como discussões e traduções de manuscritos gregos acerca da natureza dos movimentos, realizadas entre os séculos X e XII por filósofos islâmicos, mantiveram o chama acesa da questão sobre o movimento de corpos.

Com relação às referidas traduções ocorridas devido à expansão do império muçulmano através da Europa até a Península Ibérica, o mundo ocidental passou a ter acesso às discussões sobre o tema, fato este que acabou influenciando na criação de universidades como afirma Zylberstajn *apud* Resquetti e Neves (2011):

O estudo desses textos [...] deu origem à tradição escolástica com análise argumentativa, como também levou à criação das primeiras universidades europeias, destacando-se a de Bolonha, a de Oxford e a de Paris. No século XIV, no *Merton College*, em Oxford, desenvolveram-se com bastante clareza os conceitos de movimento uniforme e uniformemente acelerado. Estabeleceu-se, ainda, a “Regra do Valor Médio”, a qual equipara a distância percorrida por um corpo que se desloca com aceleração constante à distância percorrida em movimento uniforme, cuja velocidade é igual à média entre as velocidades inicial e final do movimento acelerado. O autor ainda sustenta que Galileu Galilei usou essa regra ao analisar a queda dos corpos e comenta que hoje há poucas dúvidas de que a teoria do *impetus* tenha influenciado Galileu, no início da sua carreira (ZYLBERSTAJN, 2006 *apud* RESQUETTI e NEVES, 2011, p. 30).

1.2 O período medieval

Com o início de uma nova era durante a segunda metade do século XV,

o Renascimento, surge um novo mundo, um mundo onde não havia fronteiras entre arte e ciência, um mundo onde a ciência e a tecnologia encontravam-se em pleno desenvolvimento e, conseqüentemente, artistas e cientistas são estimulados por tal desenvolvimento decorrido nessa nova era, nesse novo mundo que passava por rápidas transformações.

Koyré (1982) afirma que, ao lado de Michelangelo (1475 – 1564), Leonardo da Vinci (1452 – 1519) foi um dos maiores nomes da Renascença e que o próprio vivenciou não somente a teoria pura, mas também a *práxis*.

Da Vinci, como ainda era comum naquele tempo, foi bastante influenciado pela física aristotélica em seus argumentos. Mas também vislumbrou novas possibilidades em relação à questão do movimento dos corpos. Ele defendia que o calor e o frio causariam o movimento dos elementos, e como acreditava que todo calor do Universo era produzido pelo Sol, tal movimento seria, portanto, derivado deste astro. Mas Da Vinci não descartou o peso e a leveza. De fato, ele afirmou que ambos seriam produzidos assim que os elementos iniciassem seu movimento (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p. 70-71).

Dessa ideia bastante estranha vem a definição de gravidade proposta por Da Vinci. Para ele, “a gravidade é poder acidental, criado por movimento e infundido nos corpos que sobressaem de sua posição natural”. O mais curioso, porém, é a relação construída pelo pensador entre peso e gravidade com o que ele chama de “força” (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p. 71).

Resquetti e Neves (2011) evidenciam que Leonardo não compartilhou os estudos que desenvolveu com seus contemporâneos e, por isso, as questões científicas por ele trabalhadas permaneceram inéditas.

Ainda na Renascença, surge um pensador que serviria de marco na história da ciência: Galileu Galilei (1564 – 1642). Nascido na cidade de Pisa, na Itália, mesmo tendo iniciado estudos na Faculdade de Medicina de Pisa, Galileu foi atraído pelas linhas euclidiana e arquimediana de estudo e acaba abandonando a faculdade para iniciar suas primeiras investigações científicas na área da matemática no ano de 1585, como evidenciam Resquetti e Neves (2011).

Em 1592, com a segunda nomeação para a cátedra de

Matemática em Pisa, começa o trabalho científico profissional de Galileu. De 1592 a 1610, ele desenvolve estudos ligados à criação de uma ciência geométrica do movimento. Entre 1610 e 1633, pelas observações obtidas pelo uso do telescópio, trava uma dura batalha em defesa da teoria heliocêntrica do universo. A partir de 1633, confinado em prisão domiciliar, retoma os trabalhos sobre os movimentos e compõe os *Discursos e demonstrações matemáticas acerca de duas novas ciências*, morrendo em 1642 (RESQUETTI e NEVES, 2011, p.39).

Resquetti e Neves (2011) afirmam também que a obra *Dois novas ciências* é a última e a mais importante obra de Galileu, nela Galileu cita uma série de experimentos, de forma dialógica entre três personagens, para apresentar os principais pontos de discordância entre suas conclusões e a Física aristotélica tradicional, apontando graves objeções à velha teoria, uma delas seria a recusa de Aristóteles sobre a existência do vácuo.

Por meio de diversos experimentos, Galileu conseguiu demonstrar que a velocidade que um corpo adquire ao cair não depende de seu peso. O caso da queda de corpos de massas diferentes serviu como exemplo citado por Resquetti e Neves (2011) como segue:

Supõe a queda de dois objetos com pesos diferente. O mais pesado, por exemplo, o corpo A, de acordo com Aristóteles, é mais veloz do que o corpo B, mais leve. Galileu propõe unir os dois corpos. Nesse caso, segundo a lógica aristotélica, o mais lento retardaria o mais rápido e, este último aumentaria a velocidade do mais lento. Então, a velocidade resultante do conjunto deveria ter um valor intermediário, menor do que a velocidade de A e maior do que a velocidade de B. Contudo, Galileu argumenta que o conjunto obtido da união dos dois corpos forma um corpo maior, mais pesado, e, segundo a velha Física, deveria se mover mais velozmente, uma vez que o corpo de maior peso atinge maior velocidade. Está estabelecida uma inconsistência lógica (RESQUETTI e NEVES, 2011, p. 44).

Cherman e Mendonça (2010) afirmam que há muitas lendas associadas ao nome de Galileu. Em uma delas, ele teria descoberto o que hoje se conhece como isocronismo dos pêndulos, observando a oscilação dos lustres no interior da Catedral de Pisa. Segundo contam, Galileu aferiu o período das oscilações

daquele pêndulo por meio de sua pulsação, e com isso teria concluído que mesmo quando a amplitude diminuía, os intervalos de tempo das oscilações permaneciam iguais.

Outra história comumente contada dessa época é que ele teria feito experiências com corpos em queda do alto da Torre de Pisa, a fim de averiguar o comportamento desses corpos ao atingir o solo. Os mesmos Cherman e Mendonça (2010) citam que diversos autores creditam a adição dessa passagem à biografia de Galileu a seu aluno Vincenzo Viviani.

No início do século XVII, [Galileu] passou a se dedicar intensamente ao estudo do movimento dos corpos. Em 1602, Galileu trocou algumas cartas cujos conteúdos traziam informações sobre um potencial objeto de estudo: o pêndulo. Se a história da Catedral de Pisa é real ou não, já não importa mais, pois nessa época ele incontestavelmente analisou o movimento pendular como nenhum outro havia feito antes dele. E é provável que desse estudo tenha surgido a ideia de voltar suas atenções para o movimento dos corpos em queda livre, visto que os pêndulos apresentavam uma peculiaridade que poderia mostrar uma falha na física aristotélica: seu movimento independe da massa (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p. 96).

1.3 Sobre os ombros de gigantes

No século XVII a humanidade possuía conhecimentos sobre movimentos dos planetas e da lua, porém um entendimento quantificado das forças envolvidas não era atingível como afirmam Serway e Jewett Jr. (2014). Os mesmos autores citam que Isaac Newton (1643 – 1727) desvendou os céus partindo do princípio de que havia uma força resultante atuando sobre a lua, caso não houvesse, a lua se moveria em trajetória de linha reta e não em órbita quase circular.

As ideias organizadas e apresentadas por Isaac Newton, pai da física moderna, em *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, considerado por Cherman e Mendonça (2010) como a obra mais importante de todos os tempos, publicada em 1687, deram origem à Lei da Gravitação Universal, pois seriam elas aplicadas a quaisquer corpos no universo e, reza a lenda que o

mesmo chegou a tais conclusões após a queda de uma maçã em sua cabeça.

O que se sabe com maior precisão é que, segundo Cherman e Mendonça, Newton, aos 18 anos, foi admitido no prestigioso Trinity College, em Cambridge e que, na universidade, estudou o mundo aristotélico mas também travou contato com as ideias revolucionárias surgidas no continente europeu.

Por conta da peste, Newton deixou para trás o Trinity College com um diploma debaixo do braço e nada que o distinguisse de seus colegas de turma. Mas a atenção dedicada às novidades pensadas por Copérnico, Kepler e Galileu não seria em vão, e assim que se viu livre para ter suas próprias ideias, Newton desabrochou como o grande gênio que era (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p. 113).

Em seu exílio acadêmico, Newton criou um novo ramo da matemática (o cálculo infinitesimal, conhecido popularmente hoje como cálculo integral e diferencial), fez importantes descobertas no ramo da óptica (por exemplo, a decomposição da luz branca em diferentes cores) e da mecânica (suas três leis do movimento) e, sobretudo, começou a entender o mecanismo que mantinha os planetas em suas órbitas: a gravidade (CHERMAN e MENDONÇA, 2010, p. 113).

Newton propôs que forças envolvidas em um sistema de atração não era algo especial a sistemas celestiais/planetários, mas casos particulares de uma atração geral e universal entre corpos detentores de massa. Diante da noção de que toda partícula no universo atrai outra partícula com uma força que é diretamente proporcional às massas das partículas envolvidas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as mesmas, a referida força, em módulo, pode ser expressa por:

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2},$$

sendo que G é a constante gravitacional universal e seu valor, no Sistema Internacional de Unidades – SI é $6,674 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$, r é a distância entre as partículas de massas m_1 e m_2 .

Vale a pena ressaltar que, como evidenciam Cherman e Mendonça (2010), a equação apresentada anteriormente jamais foi escrita por Newton, entretanto, os mesmo autores expõem que na obra de Newton, o mesmo afirmou de forma literal que a gravidade existe em todos os corpos universalmente e é proporcional à quantidade de matéria em cada um deles, bem como a força gravitacional relacionada a aceleração gravitacional é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os dois corpos em questão.

Serway e Jewett Jr. (2014) evidenciam que Newton, ao publicar pela primeira vez sua teoria da gravitação, obteve rejeição de seus contemporâneos que achavam difícil aceitar o conceito de uma força que um corpo pode exercer sobre o outro sem nada estar acontecendo no espaço entre eles. A dúvida que pairava sobre suas cabeças era como ser possível que dois corpos com massa interagissem, mesmo que não estivessem em contato.

Apesar de não saber o porquê para sanar essa questão, sua teoria foi de grande valia, por explicar satisfatoriamente o movimento dos astros perceptíveis.

Desde as concepções bastante filosóficas de Aristóteles, passando por diversos pensadores medievais veementemente repreendidos pela Igreja, até chegar em Newton, um fato foi comum: todos os pensadores aqui citados possuíam o interesse em desvendar o porquê dos movimentos naturais, quais eram as leis que os regiam, fosse a queda de pedras e penas ou os movimentos aparentes de corpos fora da Terra.

De fato, Newton possuía informações acumuladas por mais de dois séculos e, sem elas, talvez não chegasse às conclusões que obteve. Diante dos fatos constatados, não é difícil concordar que a célebre citação atribuída a Newton "*Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes*" é de autoria do gênio. Tal afirmação expõe a importância que a produção coletiva do conhecimento tem para o avanço da ciência como afirmam Carvalho, Travassos e Coeli (2014).

Hoje, de forma simples e resumida, a força gravitacional pode ser compreendida mentalmente através da percepção de que a interação

gravitacional é um processo de duas etapas que envolvem um campo que age à distância. Por possuir massa, um corpo cria um campo gravitacional em todo o espaço ao seu redor.

2. ASPECTOS FÍSICOS

2.1 A apreciação da gravidade

A apreciação da força da gravidade é diária, é ela que nos mantém presos ao planeta Terra, com “os pés no chão” por mais que estejamos no polo sul “de cabeça para baixo”, por exemplo. Isto viabiliza a percepção de que a força gravitacional é uma força atrativa e não repulsiva, é algo que está relacionado com a existência de dois corpos detentores de massa (eu e o planeta Terra), age de acordo com a distância entre os corpos envolvidos até mesmo sem contato, possui sempre direção vertical e aponta para o centro dos corpos.

Ao soltar qualquer corpo detentor de massa na superfície terrestre, o mesmo é atraído pela Terra e cai em “queda livre”. Ao enunciarmos o termo “livre” transmite-se a ideia de que não há forças atuando na massa que se encontra em queda, entretanto existe a atuação da força gravitacional que a faz cair ao nível do solo e que existe devido o corpo possuir massa. O fato de possuir massa torna o corpo “escravo” da tendência à queda “livre”.

2.2 A aceleração gravitacional, suas aproximações e unidades

Com o intuito de facilitar a sua compreensão, a aceleração gravitacional é comumente taxada por Professores de constante e, indo mais além, aproximada para o valor de 10m/s^2 . Antes da infame generalização de seu valor, para a compreensão do que é a aceleração gravitacional, faz necessário um conhecimento prévio do que é essencialmente a aceleração.

A simplicidade de uma resposta como “é a variação da velocidade em função do tempo” não satisfaz, por exemplo, um indivíduo que não discerne sobre o que significa a expressão “em função”. Matematicamente, a aceleração pode ser entendida, em termos, como a divisão entre a diferença de velocidade de um móvel e o tempo gasto entre a referida variação de velocidade. Ou seja:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t},$$

sendo que a é a aceleração, Δv é a diferença entre as velocidades final e inicial do móvel no intervalo de tempo Δt gasto durante a variação da velocidade.

A força gravitacional atuante no campo gravitacional terrestre chama-se força peso. Com direção vertical e com sentido ao centro da Terra, a força peso é descrita, em módulo, por:

$$P = mg,$$

sendo que m é sua massa e g é a aceleração gravitacional terrestre.

A aceleração gravitacional terrestre é capaz de evidenciar o quanto um corpo, de massa m_1 , pode ter sua velocidade variada devido certa proximidade da Terra de massa m_2 . Considerando um corpo em equilíbrio na superfície terrestre, em módulo, o seu peso será igual à força gravitacional, ou seja:

$$P = F_g.$$

Então podemos afirmar que:

$$m_1 g = \frac{G m_1 m_2}{r^2},$$

logo, temos que:

$$g = \frac{G m_2}{r^2}.$$

Por meio da equação anterior, para definirmos o valor da aceleração que um corpo em queda livre está sujeito na superfície terrestre, não é necessário conhecermos sua massa, mas necessitamos de dados como a massa do planeta Terra ($m_2 = 5,972 \times 10^{24} \text{ kg}$), o raio médio da Terra ($r = 6,371 \times 10^6 \text{ m}$) e a constante de gravitação universal.

Com base nesses valores apresentados, o valor encontrado da gravidade é de $9,819 \text{ m/s}^2$. Vale ressaltar que esse valor é obtido utilizando valores aproximados tanto da massa quanto do raio da Terra, dessa forma, o valor da gravidade encontrado é também, aproximadamente, uma média da aceleração gravitacional na superfície terrestre.

É comum encontrarmos referências que citam apenas a unidade de aceleração m/s^2 , no Sistema Internacional de Unidades. Entretanto, geofísicos utilizam a unidade Gal (em homenagem a Galileu) em que 1 Gal é igual à 1 cm/s^2 que também é igual à $0,01 \text{ m/s}^2$.

A utilização da unidade Gal para cálculo da aceleração pode servir como uma forma de melhor expressar a ideia da grandeza. Pois, devido da relação entre m/s^2 e Gal ser de 1 para 100, ou seja, $9,78 \text{ m/s}^2$ correspondem a 978 Gals, trabalhar com Gals é trabalhar com números maiores, que podem ilustrar variações também inteiras e assim apresentar algo mais palpável para o aluno, por não se tratar apenas de partes decimais.

2.3 A variação de acordo com a altura em relação à superfície terrestre

Não estando na superfície terrestre, mas sim a uma altura h da superfície, o módulo do valor de g passa a depender de uma nova distância que é definida pela soma entre r e h , ou seja:

$$g = \frac{Gm_2}{(r + h)^2}.$$

A Tabela 1 a seguir mostra o quanto o módulo da aceleração gravitacional diminui devido o aumento da distância entre o centro da Terra e um corpo em questão.

Altura h (em metros)	Gravidade g (em Gals)	Gravidade g (em m/s ²)
0	981,9	9,819
1.000	981,6	9,816
10.000	978,8	9,788
100.000	951,8	9,518
1.000.000	733,5	7,335
2.000.000	568,7	5,687
3.000.000	453,8	4,538
4.000.000	370,5	3,705
5.000.000	308,2	3,082
6.000.000	260,4	2,604
7.000.000	222,9	2,229
8.000.000	192,9	1,929
9.000.000	168,6	1,686
10.000.000	148,7	1,487
15.000.000	87,26	0,872
20.000.000	57,31	0,573

Tabela 1 – Relação entre a gravidade terrestre g e a altura h

Com base na tabela anterior é notável que a relação entre distância e gravidade é inversamente proporcional, ou seja, quanto maior for a distância entre um corpo e o planeta Terra, menor será o campo gravitacional terrestre

atuante no corpo em questão. A Figura 1 a seguir evidencia a relação inversamente proporcional entre g e h .

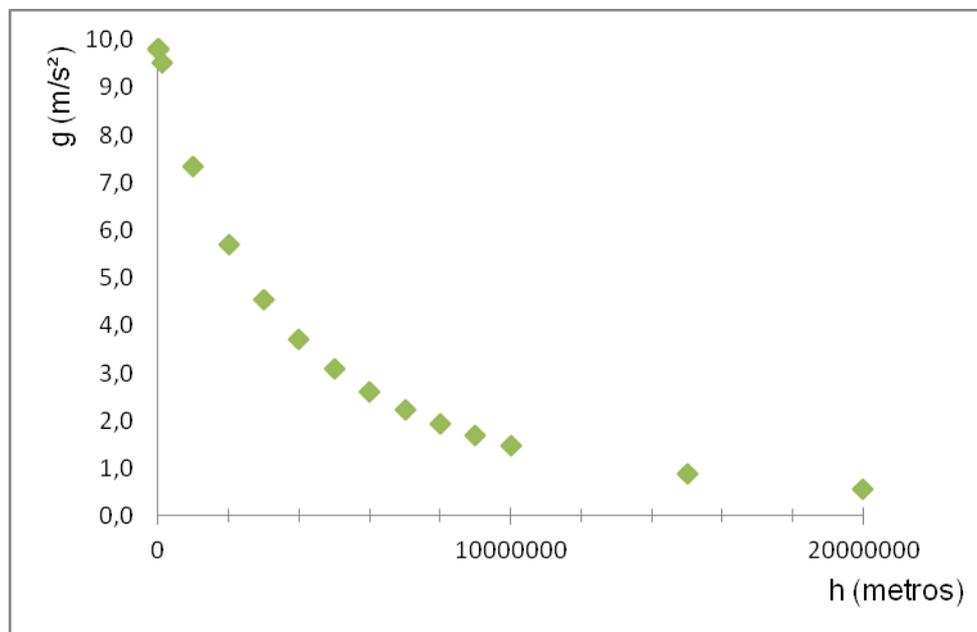


Figura 1 – Relação inversamente proporcional entre g e h

Reis *et alli* (2008) citam que satélites que apresentam um plano de órbita com inclinação próxima a do equador terrestre são os chamados satélites de órbita equatorial e os mesmos situam-se em torno de 36.000 Km de altitude. Evidenciam também que, satélites de órbita polar, aqueles que possuem órbita orientada perpendicularmente ao equador terrestre, passam pelos polos terrestres e situam-se a altitudes entre 700 Km e 1000 Km.

2.4 A forma da Terra e interferências no valor da gravidade

A superfície terrestre não é homogênea em toda sua extensão. Tanto elevações como depressões do relevo conferem à superfície variações de altura com relação ao nível do mar. Além disso, a forma tridimensional e aproximada da superfície terrestre é de um geóide.

Silveira (2014) trata do assunto afirmando que:

O geóide é uma figura geométrica que representa a forma da Terra aproximadamente. Na verdade é a forma de uma superfície equipotencial gravitacional que coincide, em média, com o nível dos mares. Assim sendo o geóide não descreve em detalhes a superfície real da Terra pois as montanhas e as depressões abaixo do nível médio dos mares não estão contempladas no geóide (SILVEIRA, 2014).

Consta no glossário cartográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE que geóide é:

Figura definida como a superfície eqüipotencial do campo de gravidade da Terra que melhor se aproxima do nível médio dos mares, supostos homogêneos e em repouso. Embora melhor descreva a forma física da Terra, o geóide se caracteriza por grande complexidade em função da distribuição irregular de massas no interior da Terra e, conseqüentemente, por difícil representação matemática, o que leva à adoção do elipsóide como forma matemática da Terra, devido à simplificação decorrente de seu uso (IBGE, 2015).

O fato da Terra não ser homogênea interfere no cálculo do valor da aceleração da gravidade em um ponto de latitude em questão. Desconsiderando variações de altura em relação ao nível do mar, devido o achatamento dos polos, há variação do raio da Terra desde um polo até a seção equatorial. A distância entre a superfície e o centro do planeta aumenta, fato este que concebe valor da aceleração gravitacional maior nos polos e menor sobre a linha do equador.

2.5 O cálculo do valor da aceleração gravitacional

Há algumas expressões que têm sido utilizadas para descrever matematicamente o módulo da aceleração da gravidade em função da latitude na superfície terrestre. Uma delas é a expressão conhecida como a Fórmula Internacional da Gravidade de 1967 que Ferreira (2011) expressa por:

$$g = 9,7803185(1 + 0,0053024 \operatorname{sen}^2 \varphi - 0,0000059 \operatorname{sen}^2 2\varphi).$$

Os valores da gravidade para cada ponto de latitude φ , calculados com a referida fórmula, chamam-se valores teóricos ou normais da gravidade para pontos sobre a superfície da Terra ao nível da mesma.

A utilização da Fórmula Internacional da Gravidade serve como um exemplo em que o aluno pode vislumbrar uma forma de aplicação dos conhecimentos adquiridos em trigonometria.

É interessante ressaltar que, desde o século passado a humanidade vem desenvolvendo fórmulas cada vez mais precisas para a determinação do valor da gravidade em função da latitude. Em 1980, por exemplo, a Associação Internacional de Geodésia adotou uma nova fórmula que possui precisão de $0,1 \mu\text{Gal}$, já a fórmula internacional do Sistema Geodésico de Referência, de 1967, possui precisão de $4 \mu\text{Gals}$.

Além da utilização de Fórmulas Internacionais da Gravidade, que geram valores de g em função da latitude, há um método para realizar o cálculo do valor da aceleração gravitacional, de forma mais simplificada, porém menos precisa: por meio da realização do experimento do pêndulo simples.

Um pêndulo simples é um sistema que consiste em uma partícula suspensa por um cabo com massa desprezível e inextensível. Quando afastada da posição de equilíbrio sobre a linha vertical que passa pelo ponto de suspensão do cabo, e abandonada, essa partícula oscila no plano vertical sob a influência da força gravitacional.

“Durante os três últimos séculos, o pêndulo foi o mais confiável medidor de tempo que se dispôs” (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 2007, p.95).

Ainda Halliday, Resnick e Krane (2007, p.95) evidenciam que a “utilização do pêndulo simples também propicia um procedimento conveniente para a medição do valor da aceleração gravitacional”.

A Figura 1 a seguir mostra um pêndulo simples de comprimento L e uma partícula de massa m em um instante em que o cabo faz um ângulo θ com a vertical e, dessa forma, é possível evidenciar as forças que atuam sobre a partícula. O movimento ocorre ao longo de um arco de circunferência de raio L .

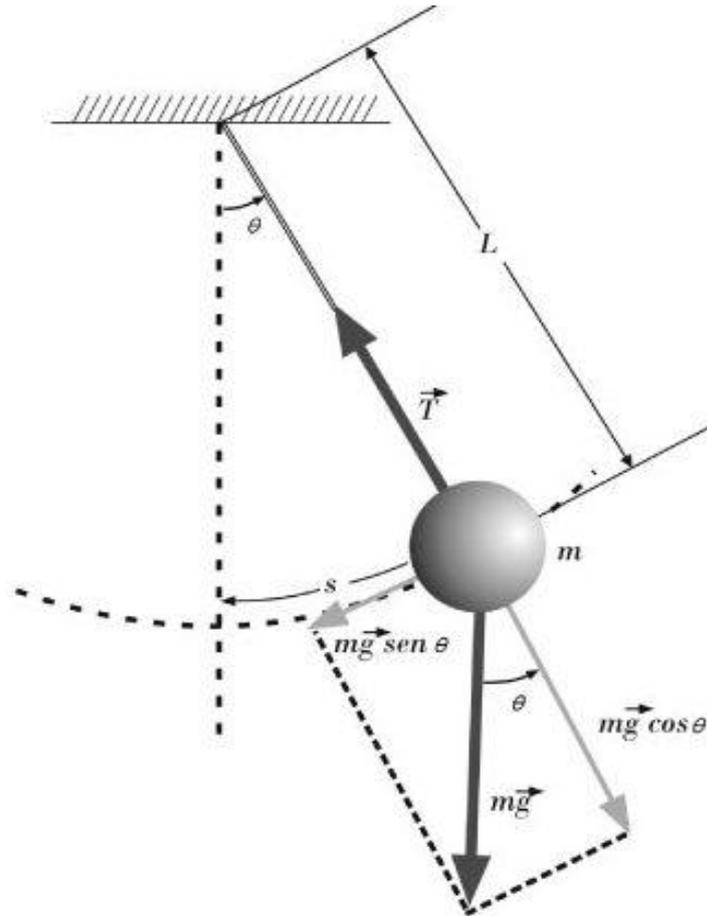


Figura 2 – Diagrama de forças atuantes no pêndulo
 FONTE (ARNOLD *et alli*, 2011)

O período de oscilação de um movimento harmônico simples pode ser calculado através da expressão:

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

O cálculo da aceleração gravitacional local pode ser estimado com os valores do comprimento L do fio do pêndulo e do período T de uma oscilação por meio da equação:

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

Analisando a equação apresentada é possível notar que em sua composição não aparece a variável relativa à massa do corpo que oscila no pêndulo, isto é, a aceleração gravitacional e o período de oscilação não dependem da massa do corpo oscilante.

É interessante ressaltar que o período T de uma oscilação corresponde ao tempo gasto pelo pêndulo para sair de sua posição inicial e retornar bem próximo ao seu local de origem, ou seja, o tempo despendido para ir e vir.

Outro fato que vale ser ressaltado é que, como existem forças dissipativas durante a oscilação, a esfera metálica jamais voltará a sua posição exata de partida, entretanto, para pequenas amplitudes e poucas oscilações, a diferença entre a posição de origem e a posição de retorno é ínfima e pode ser desprezada. Porém, quanto maior a amplitude da oscilação, maior será o amortecimento da mesma.

Arnold *et alli* (2011) evidenciam que, como mostrado anteriormente, este modelo, apesar de fornecer elementos instrutivos e didáticos para determinação da aceleração da gravidade, possui uma premissa falha, pois não considera o efeito das forças de amortecimento das oscilações. Segundo o modelo utilizado, o pêndulo oscilaria com amplitude fixa e indefinidamente. Tal amortecimento citado pelos autores ocorre, principalmente, pela resistência do ar sobre as peças que constituem o pêndulo.

Ainda Arnold *et alli* (2011, p.1) afirmam que “a abordagem do pêndulo como elemento de estudo pode ocorrer em diferentes níveis, mas, inequivocamente, encontra-se sempre presente nas disciplinas introdutórias de física básica”.

A realização do experimento do pêndulo simples serve como sugestão de atividade para que o Professor realize em sala de aula e propicie condições de melhor compreensão do tema aqui tratado, bem como conceitos e outras grandezas físicas que se relacionam com a aceleração gravitacional como grandezas vetoriais e escalares, precisão, Algarismos significativos, arredondamento, campo gravitacional, força gravitacional, massa, peso, resistência do ar, etc.

3. ROTEIRO EXPERIMENTAL

Objetivo

Determinar a aceleração da gravitacional local utilizando um pêndulo simples.

Materiais necessários

Para a realização do experimento, faz-se necessário:

- Fio inextensível com comprimento superior a 2 metros*;
- Esferas metálicas de massas distintas, porém de volumes iguais**;
- Cronômetro;
- Trena;
- Transferidor;
- Fita adesiva;
- Alicates;
- Suporte para ponto de suspensão do pêndulo***.

* Um tipo de fio inextensível que pode ser utilizado é a linha de pipa, conhecida popularmente com “Linha 10”. Quanto maior for o comprimento do fio, maior será o tempo de oscilação do pêndulo, dessa forma, é mais fácil aferir o tempo da oscilação.

** A sugestão de utilizar esferas de volumes iguais recai sobre o fato de que volumes diferentes farão com que a área de contato das esferas com o ar seja diferente durante as oscilações. Uma forma de viabilizar os volumes iguais é utilizar, por exemplo, chumbadas de pesca envolvidas por embalagens esféricas ou mesmo bolas utilizadas como enfeite de árvore de natal.

*** Uma forma de confeccionar um bom suporte para suspensão do pêndulo é dobrando um clipe metálico de papel com alicates como evidenciado nas Figuras 3 e 4 a seguir:

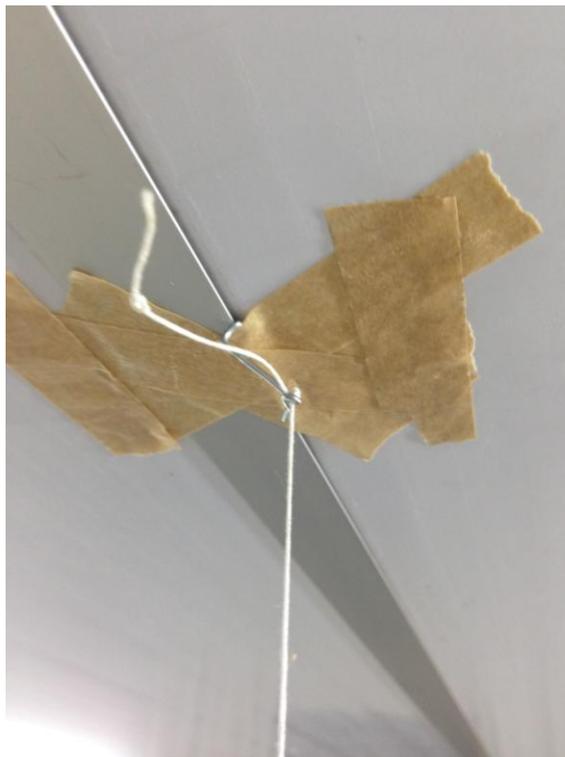


Figura 3 – Suporte de suspensão do pêndulo



Figura 4 – Suporte de suspensão com clipe metálico

Procedimento

A montagem do experimento começa com a confecção do suporte dobrando o clipe metálico com o alicate de modo que o fio passe por dentro de uma pequena circunferência moldada no clipe (Figura 4). Alguns nós no fio farão com que o mesmo passar, mas não deslizar pelo suporte criado.

A fixação do suporte para o ponto de suspensão do pêndulo deve ser feita com a fita adesiva (Figuras 3 e 4).

Posteriormente, faz-se necessária a amarração da outra extremidade do fio à esfera metálica de modo que o comprimento do fio pré-definido deve ser do ponto suspensão previamente fixado até o centro da esfera metálica.

Com a montagem do pêndulo concluída, para realização do experimento, faz-se necessária a utilização do transferidor para constatar que o fio, ainda esticado, faça um ângulo $\theta < 15^\circ$ com a sua posição de equilíbrio e, assim, defina-se a posição inicial de movimento de oscilação do pêndulo (em um plano imaginário), que será a posição onde, aproximadamente, o pêndulo retornará após uma oscilação completa, tendo partido com velocidade inicial nula.

Ao iniciar o movimento oscilatório, é necessário cronometrar o tempo T (período) decorrido durante 10 oscilações completas da massa pendular.

Com a média (aritmética) do período de oscilação, o cálculo do valor da aceleração gravitacional local pode ser realizado utilizando a equação:

$$g = L \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 .$$

Repita o experimento com pêndulos posicionados paralelamente e com esferas metálicas de massas diferentes oscilando simultaneamente com a mesma amplitude.

4. QUESTIONÁRIOS

A seguir, segue sugestão de questionários que podem ser aplicados previamente e posteriormente ao experimento proposto.

4.1 Questionário prévio

De acordo com seus conhecimentos, responda as seguintes questões:

- 1 – O que é aceleração?
- 2 – Qual a diferença entre força e aceleração?
- 3 – Sendo a aceleração gravitacional terrestre um tipo de aceleração, como você faria para calcular o valor dessa aceleração?
- 4 – O tempo de queda é influenciado pela massa de um corpo em queda livre? Justifique.

4.2 Questionário posterior

- 5 – O valor experimental de g encontrado lhe é satisfatório? Discorra sobre possíveis influências na divergência ou semelhança entre os valores.
- 6 – A utilização de esferas de massas diferentes influenciou nos valores da aceleração da gravidade g e do período T ? Por quê?
- 7 – Caso o experimento fosse realizado na lua, onde a aceleração gravitacional é menor que a terrestre, o tempo de oscilação (período) do pêndulo simples seria maior, menor ou igual? Justifique sua resposta.
- 8 – Quais as conclusões que você obteve após a realização do experimento?

Como sugestão, recomenda-se que o Professor tabule os dados obtidos em todos os questionários, de forma que seja possível quantificar as respostas satisfatórias e insatisfatórias, bem como a ausência de respostas em cada questão.

Pressupõe-se ser praticamente impossível tirar uma conclusão geral e precisa das respostas obtidas nos questionários, o Professor poderá observar

quais os aspectos relacionados à aceleração gravitacional são menos compreendidos pelos alunos de uma forma geral.

Uma possível evidência de que um aluno possui uma visão ainda aristotélica sobre o movimento dos corpos pode ser constatada através de respostas insatisfatórias para os quesitos 4 e 6, por exemplo.

Já os alunos que derem respostas bastante satisfatórias para os quesitos 2 e 7 por exemplo, podem ser casos em que, aparentemente, ocorreu a aprendizagem significativa do tema tratado.

O ideal é que caiba ao Professor tentar debater com os alunos sobre o porquê das repostas insatisfatórias, não evidenciando o erro de um ou outro discente específico, mas sim comparando respostas e exemplos corretos e incorretos dados pelos acadêmicos.

5. MAPAS CONCEITUAIS

A utilização de mapas conceituais no presente trabalho visa permitir que o aluno consiga entender as relações entre como campo gravitacional, aceleração gravitacional, força gravitacional, entre outros conceitos e grandezas físicas, de forma que o mesmo não as armazene aleatoriamente em sua estrutura cognitiva.

Na medida em que os alunos utilizarem mapas conceituais para integrar, reconciliar e diferenciar conceitos, na medida em que usarem essa técnica para analisar artigos, textos capítulos de livros, romances, experimentos de laboratório, e outros materiais educativos do currículo, eles estarão usando o mapeamento conceitual como um recurso de aprendizagem. (MOREIRA, 2012, p. 5).

As Figuras 5 a 9 apresentam alguns exemplos de mapas conceituais com enfoque no tema.

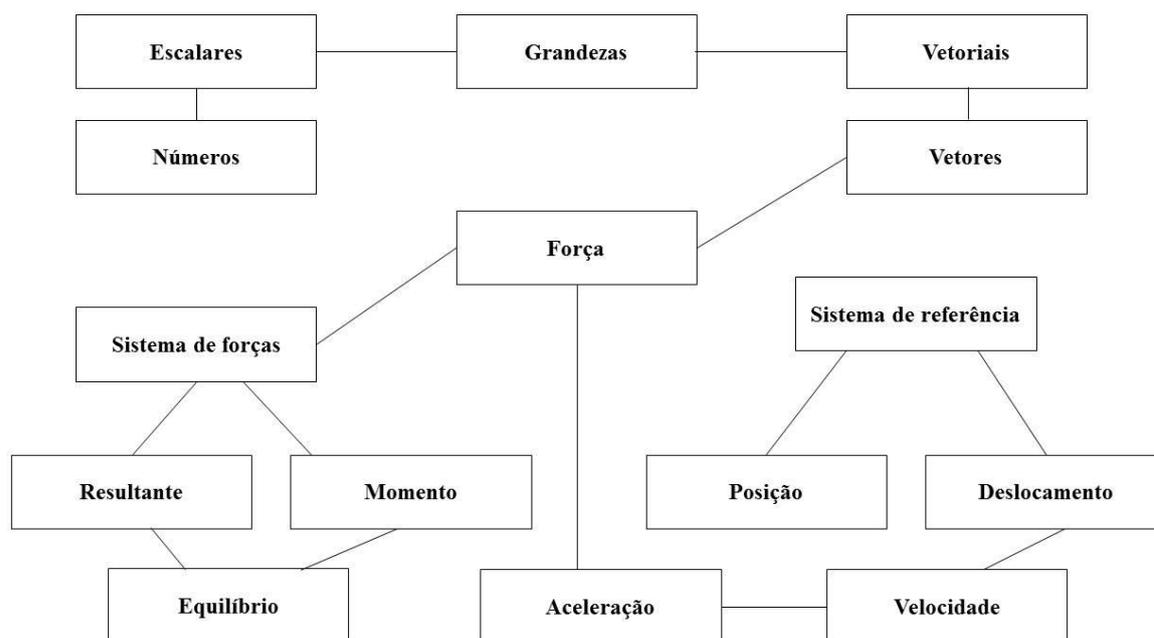


Figura 5 – Mapa conceitual envolvendo o conceito de força
 FONTE (Editado de GANGOSO, 1997)

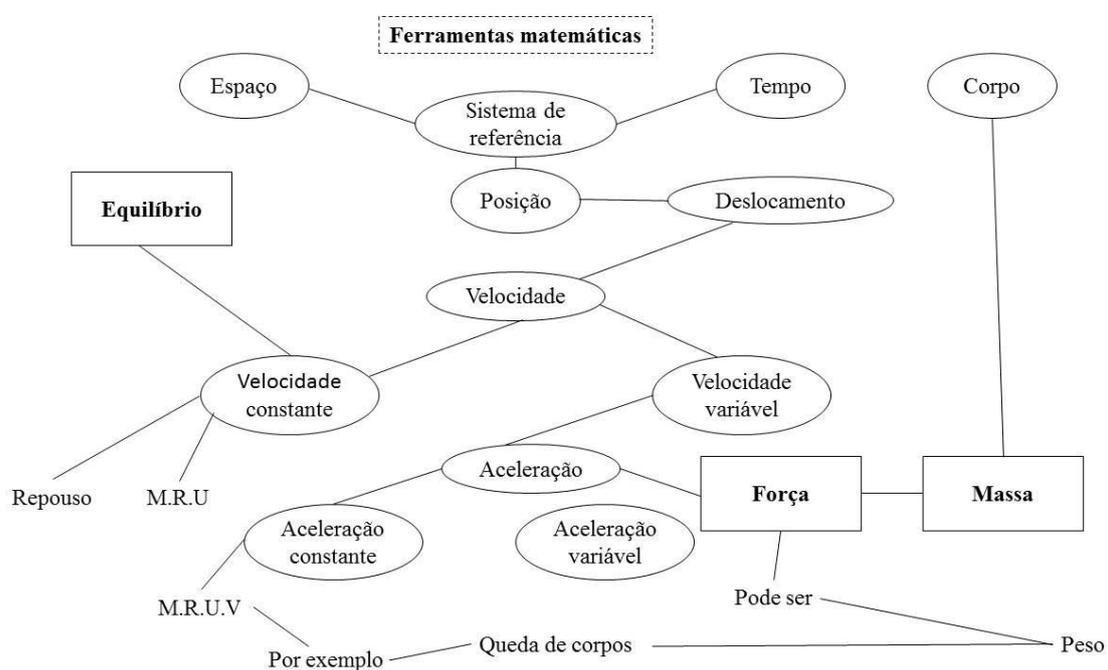


Figura 6 – Mapa conceitual que relaciona grandezas e conceitos físicos
 FONTE (Editado de GANGOSO, 1997)

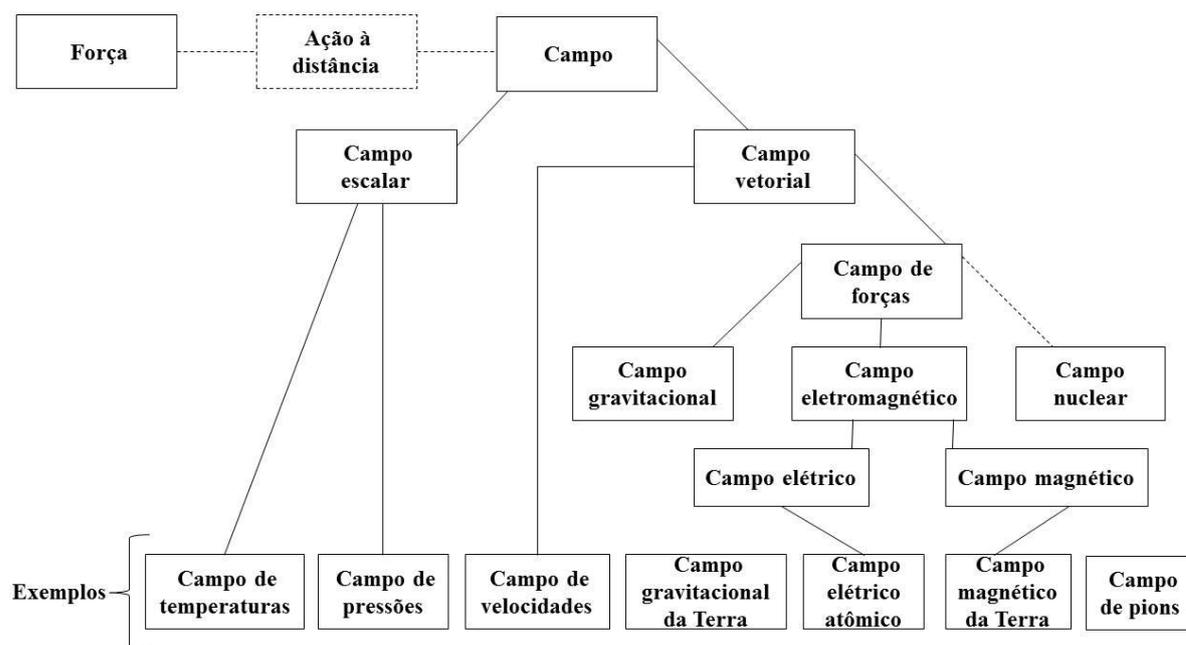


Figura 7 – Mapa conceitual que aborda sobre o conceito de campo
 FONTE (Editado de MOREIRA; MASINI, 2001)

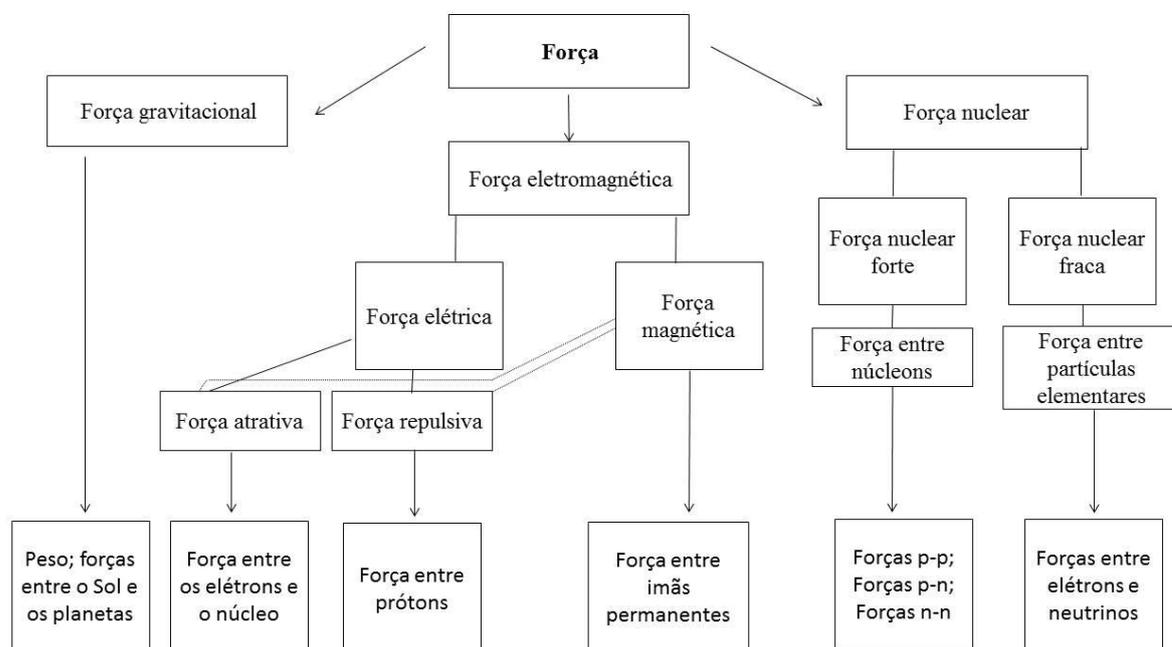


Figura 8 – Mapa conceitual que expressa relações entre tipos de forças
 FONTE (Editado de MOREIRA; MASINI, 2001)

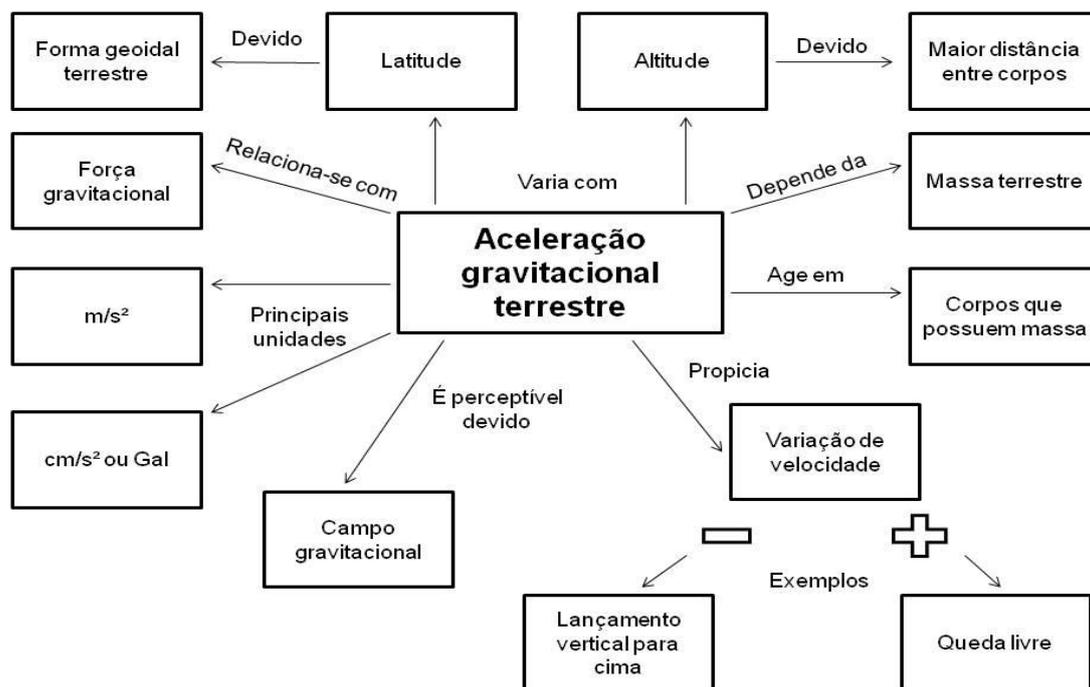


Figura 9 – Mapa conceitual que evidencia relações de grandezas e conceitos relativos à aceleração gravitacional

FONTE (O autor, 2016)

6. ILUSTRAÇÕES EM FORMA DE QUADRINHOS

Por fim, as Figuras de 10 a 16 apresentam ilustrações em forma de quadrinhos que tratam sobre a gravidade que podem servir de ferramentas para que o Professor mostre ao aluno que o assunto aqui tratado não é algo distante da realidade discente.



Figura 10 – Quadrinho do Garfield que evidencia diferença entre peso e massa
FONTE: <http://dicasdeciencias.com/2011/03/28/garfield-saca-tudo-de-fisica/> (2011)

No quadrinho da Figura 10, o icônico Garfield se aproveita de uma comum confusão entre peso e massa, dessa vez feita pelo seu dono, Jon Arbuckle, e o responde afirmando cumprir sua solicitação de perder “peso” partindo em viagem a um planeta onde a gravidade seja menor, assim, seu peso também será, já sua massa...

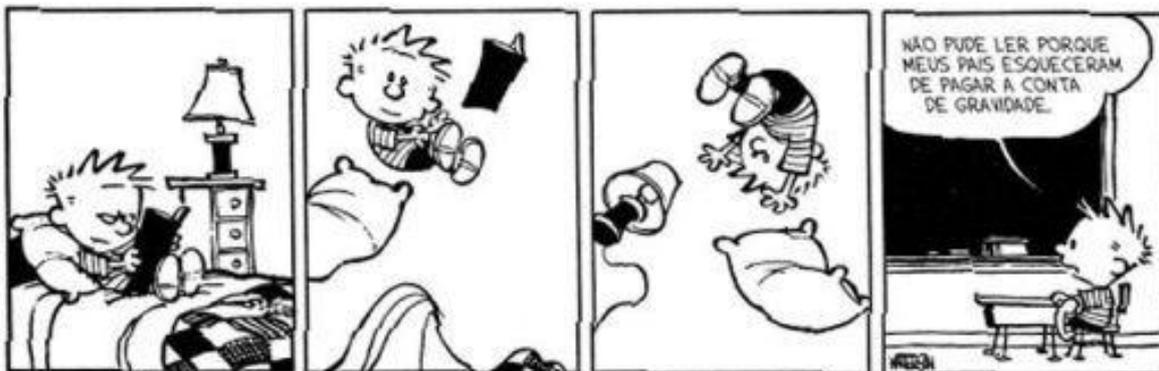


Figura 11 – Quadrinho do Calvin sobre a “conta da gravidade”

FONTE: <http://depositodocalvin.blogspot.com.br/2009/08/calvin-haroldo-tirinha-560.html> (2009)

No quadrinho da Figura 11 do Calvin, garoto que cria um mundo imaginário em seu cotidiano, aparentemente sem muita vontade de estudar, o mesmo idealiza não apreciar o campo gravitacional terrestre e sai flutuando pelo ar junto com os objetos ao seu redor, inclusive seu livro. Como se não bastasse não estudar, Calvin afirma em sala de aula que a culpa por ele não ter estudado foi de seus pais que não pagaram a conta da gravidade. Será que ele sabe que a gravidade na Terra é de graça? Ou melhor, custa apenas ter massa...

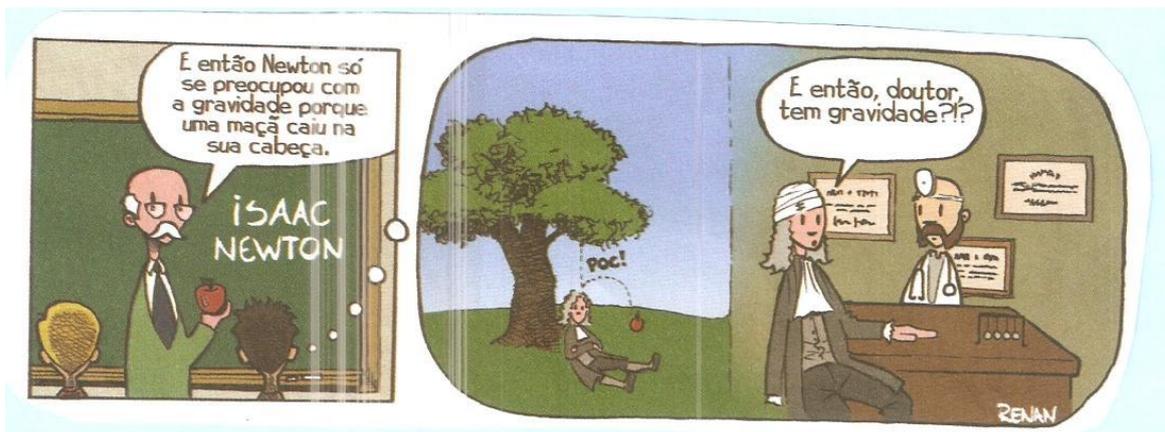


Figura 12 – A gravidade da queda da maçã para Newton segundo um aluno
 FONTE: http://caldasredacaoturma801.blogspot.com.br/2010_03_01_archive.html
 (2010)

No quadrinho da Figura 12, diante da afirmação do Professor, o aluno imagina que a preocupação de Newton seria com a gravidade da enfermidade causada devido a queda da maçã em sua cabeça. A gravidade do fato é relativa ao fato da gravidade existir.



Figura 13 – Quadrinho que ilustra a diferença entre força e aceleração gravitacional
 FONTE: <http://sarauxyz.blogspot.com.br/2015/09/jaguar.html?view=snapshot&m=1>
 (2015)

Já no quadrinho da Figura 13, de autoria de Jaguar, hilário cartunista brasileiro, podemos ver o personagem feliz por ter descoberto a lei da gravidade evidenciando que, caso fosse um coco e não uma maçã, a força gravitacional (algo diferente de aceleração gravitacional) com que o fruto cairia sobre sua cabeça seria maior devido maior massa do coco se comparado à

maçã. A aceleração com que os dois corpos cairiam seria a mesma, a aceleração gravitacional, mas as forças com que se chocariam seriam diferentes devido suas massas serem diferentes.



Figura 14 – A queda de ministros comparando-a com a teoria da gravidade
FONTE: <http://www.humorpolitico.com.br/governo-dilma-2/3-ministros-em-8-meses/>
(2011)

Duke, outro cartunista brasileiro bastante talentoso, faz uma analogia ao fato de que alguns novos ministros não se sustentaram em seus cargos e compara a “queda” deles com a teoria da gravidade: tudo que sobe, cai (Figura 14). Resta saber se ocorreu uma “queda livre” ou um lançamento vertical para baixo.



Figura 15 – Exemplo de quebra da lei da gravitação universal
FONTE: Editado de http://www.therationaltheorist.org/2008_07_01_archive.html (2008)

No quadrinho da Figura 15, João é acusado pelo júri de violar leis e, de quebra, viola na frente do juiz mais uma: a lei da gravidade.



Figura 16 – Quadrinho que evidencia desafio das árvores em subir (crescer) e desobedecer a lei da gravidade
 FONTE: http://www.stuartmcmillen.com/comics_pt/ar/ (2012)

O último, mas não menos importante quadrinho (Figura 16), evidencia a tendência natural das árvores em subir (crescer) e desobedecer a lei da gravidade. As árvores sobem (crescem), mas seus frutos e folhas, sem fixação, caem.

Belan (2015) explica que isso acontece graças a um hormônio que a árvore possui, chamado auxina. Essa substância é a responsável por fazer os galhos crescerem na direção contrária a da gravidade. A auxina estimula o alongamento do caule e dos galhos das plantas, viabilizando o crescimento deles para cima, fenômeno chamado de geotropismo negativo.

Essa é uma oportunidade que o Professor tem evidenciar relações interdisciplinares ao expor relações entre a aceleração gravitacional e o ensino de biologia, por exemplo.

7. SÍNTESE FINAL

Fundamentado teoricamente sob a ótica da teoria da aprendizagem significativa, este produto educacional apresenta-se como instrumento à disposição do Professor de Física que, utilizando-o, poderá lecionar sobre questões relativas à aceleração gravitacional tendo a sua disposição aspectos históricos sobre o movimento dos corpos, proposta com experimento do pêndulo simples, questionários, mapas conceituais, bem como ilustrações em forma de quadrinhos relacionados ao tema.

O conjunto aqui apresentado é uma proposta de abordagem do tema em questão com o objetivo de viabilizar a aprendizagem significativa do mesmo. Sua utilização visa propiciar condições para que o aluno passe pelo processo de ensino-aprendizagem de forma que consiga desenvolver sua capacidade cognitiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, F. J.; RANGEL, A.; BRAVO-ROGER, L. L.; GONÇALVES, M. S.; OLIVEIRA, M. J. G. de. Estudo do amortecimento do pêndulo simples: uma proposta para aplicação em laboratório de ensino. 2011. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Vol. 33, N. 4.

BELAN, F. Biologia Mais. 2015. Disponível em: <<http://biologiamais.com.br/postagens-curtas/por-que-os-galhos-das-arvores-sao-para-cima-se-a-gravidade-puxa-tudo-para-baixo-22.html>> Acesso em 30 mai 2016.

CARVALHO, M. S.; TRAVASSOS, C.; COELI, C. M. Contra a cultura do corta & cola. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, Vol. 30, N. 5. 2014. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2014000500905&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 25 set 2015.

CHERMAN, A.; MENDONÇA, B. R. Por quê as coisas caem? Zahar. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2010.

COHEN, I. B. O. O nascimento de uma nova física. Lisbo. Gradiva, 1988.

DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S.; SOUZA, M. T. M. de. A Gravitação Universal: um texto para o Ensino Médio. 2004. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, Vol. 26, N. 3. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172004000300012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 13 Jun 2015.

FERREIRA, F. J. F. Método gravimétrico. 2011. Disponível em: <http://www.cartografica.ufpr.br/home/wp-content/uploads/2012/03/Grav_Teoria.pdf> Acesso em 30 mai 2016.

GANGOSO, Z. El fracaso en los cursos de física. El mapa conceptual, una alternativa para el análisis. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Vol. 14, N. 1. 1997.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Glossário cartográfico. 2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/glossario/glossario_cartografico.shtm>. Acesso em 17 abr 2015.

KOYRÉ, A. Estudos de história do pensamento científico. Rio de Janeiro. Forense-Universitária, 1982.

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. 2012. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/mapasport.pdf>>. Acesso em 17 abr 2015.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo. Centauro, 2001.

NEVES, M. C. D. De experimentos, paradigmas e diversidades de ensino de Física: construindo alternativas. 1ª Edição. Maringá: Massoni, 2005.

PORTO, C. M. A física de Aristóteles: uma construção ingênua?. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, Vol. 31, N. 4. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-1117200900400019&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 05 out 2015.

REIS, N. T. O.; GARCIA, N. M. D.; SOUZA, P. N. de; BALDESSAR, P.S. Análise da dinâmica de rotação de um satélite artificial: uma oficina pedagógica em educação espacial. **Revista Brasileira de Ensino Física**, São Paulo, Vol.

30, N. 1, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172008000100011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 18 Jun 2015.

RESNICK, R; HALLIDAY, D. KRANE, K. S. Física. Vol. 2. LTC. 5ª Edição. Rio de Janeiro, 2007.

RESQUETTI, S. O. e NEVES, D. Galileu e sua obra no ensino de Física hoje. Eduem. Maringá, 2011.

SERWAY, R. A.; JEWETT Jr, J. W. Princípios da física. Cengage Learning. São Paulo, 2014.

SILVEIRA, F. L. Da. O formato da Terra. 2014. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=828>>. Acesso em 17 mar 2015.

ZYLBERSTAJN, A. A evolução das concepções sobre força e movimento. Florianópolis. 2006.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

M386a Martins, André da Costa
Aceleração gravitacional : uma proposta de abordagem com objetivo de viabilizar sua aprendizagem significativa / André da Costa Martins. -- Maringá, 2016.
80, 36 f. : il. (algumas color.), figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Física, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, 2016.

1. Aceleração gravitacional. 2. Física - Ensino médio. 3. Meio Ambiente - Ensino de física. 4. Pêndulo simples - Experimento. I. Oliveira, Breno Ferraz de, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Departamento de Física. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. III. Título.

CDD 21.ed. 531.14

AMMA-003348