



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

Este produto educacional consiste em uma *Proposta Didática* destinada ao resgate das raízes históricas da Cinemática Galileana, enfocando os diversos aspectos culturais, sociais, políticos, econômicos e filosóficos na construção do estudo do movimento dos graves. Tal proposta foi dividida em cinco passos, para que professores possam ter melhores resultados na sua aplicação em sala de aula. Somente o Passo 4 destina-se unicamente aos professores, já que consiste de uma intervenção pedagógica, ou seja, orientações diretamente aos professores. Os outros passos, por sua vez, são textos que devem ser distribuídos aos alunos e trabalhados em pequenos grupos, sob a intervenção direta e indireta do mediadores (professor). Em cada passo está registrado o tempo que foi necessário, em nossa pesquisa, para trabalhar cada passo.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

PROPOSTA DIDÁTICA – PASSO 1

AUTOR: José Francisco Martins de Sousa

DISCIPLINA: Física – Módulo I

TEMA: O papel dos experimentos históricos na reaproximação entre História da Ciência e o Ensino de Ciências.

SUBTEMA: O plano inclinado na construção de uma cinemática galileana

OBJETIVO: Resgatar experimentos históricos e sua real importância na compreensão da Física como construção do homem, como cultura, e gerar novos momentos de discussão e aprendizagem.

Esta atividade consiste em uma releitura da obra “Duas Novas Ciências” de Galileu Galilei

Momento de Aprendizagem – Passo 1 – 03 aulas

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: O ESTUDO DA CINEMÁTICA

- **Introdução**

A Cinemática é a parte da Física que estuda o movimento, sem preocupar-se com as **causas** e **efeitos** deste mesmo movimento. Para esse estudo recorreremos constantemente ao conceito primitivo de **tempo**. Dentro do corpo teórico da Cinemática o tempo aparece como uma grandeza física independente, enquanto as outras, como velocidade, são dependentes deste.

- **Conceitos básicos de Cinemática**

Alguns conceitos, primitivos e derivados, são necessários na descrição do movimento. Abaixo uma lista com os principais.

1. **Móveis e Ponto material:** *os corpos em movimento serão chamados de móveis e também de pontos materiais, pois para nosso interesse, suas dimensões serão desprezíveis.*
2. **Posição:** *local ocupado por um móvel num determinado **instante** (tempo extremamente curto).*
3. **Trajectoria, percurso ou caminho:** *o conjunto das posições ocupadas por um móvel.*
4. **Origem:** *é o marco zero das posições, diferente de **posição inicial** do móvel, que indica de onde este iniciou o movimento ou onde ele estava no tempo inicial (tempo zero).*
5. **Estudo de movimento:** *o estado de movimento de um corpo é caracterizado por grandezas como **posição, velocidade e aceleração**. Movimento e repouso são estados de movimento de um corpo.*
6. **Movimento, repouso e referencial:** *estes três conceitos estão interligados.*

- ✓ **Movimento** – um corpo está em movimento quando sua posição muda em relação a um corpo de referência (referencial ou sistema de referência).
- ✓ **Repouso** – um corpo está em repouso quando sua posição não muda em relação ao referencial adotado.
- ✓ **Referencial** – um corpo que é adotado como referência para determinar se um outro corpo está em movimento ou não; para descrever o movimento de um corpo é necessário um outro como referência. Não faz sentido tentar afirmar se um corpo está em repouso ou em movimento sem adotar um referencial.

- **Velocidade Escalar Média e Velocidade Escalar Instantânea**

Definição
matemática de velocidade média

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

Onde ΔS representa o espaço percorrido e Δt o tempo transcorrido.

Definição
matemática de velocidade instantânea

$$V_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

A diferença está no tempo, pois na segunda expressão este tende a zero.

- **Aceleração Escalar Média e Aceleração Escalar Instantânea**

Definição matemática de aceleração média

$$a_m = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Onde ΔV representa a variação de velocidade (aumento ou diminuição) e Δt o tempo transcorrido.

Definição matemática de aceleração instantânea

$$a_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

A aceleração mede a rapidez com que a velocidade de um corpo está variando.

- **Movimento Progressivo, Movimento Retrógrado, Movimento Acelerado e Movimento Retardado**

Movimento progressivo → é aquele em que o móvel movimenta-se no sentido positivo da trajetória (ele está “indo”).

Movimento retrógrado → é aquele cujo móvel está realizando seu movimento na direção negativa da trajetória (ele está “vindo”).

Movimento acelerado → pode ser entendido por aquele no qual o módulo da velocidade está aumentando, ou seja, a aceleração age no mesmo sentido da velocidade.

Movimento retardado → podemos entender que o módulo da velocidade está diminuindo com o tempo, ou seja, a aceleração age no sentido oposto à velocidade.

- **Movimento Uniforme (MU)**

Definição: O movimento uniforme acontece quando o corpo mantém a velocidade com módulo constante. Quando a trajetória é reta o movimento é chamado de movimento retilíneo uniforme (MRU).

Função Horária dos Espaços: $S = S_0 + v.t$

- **Movimento Uniformemente Variado (MUV)**

Definição: Aquele no qual a aceleração é mantida constante.

Função Horária da Velocidade: $V = V_0 + a.t$

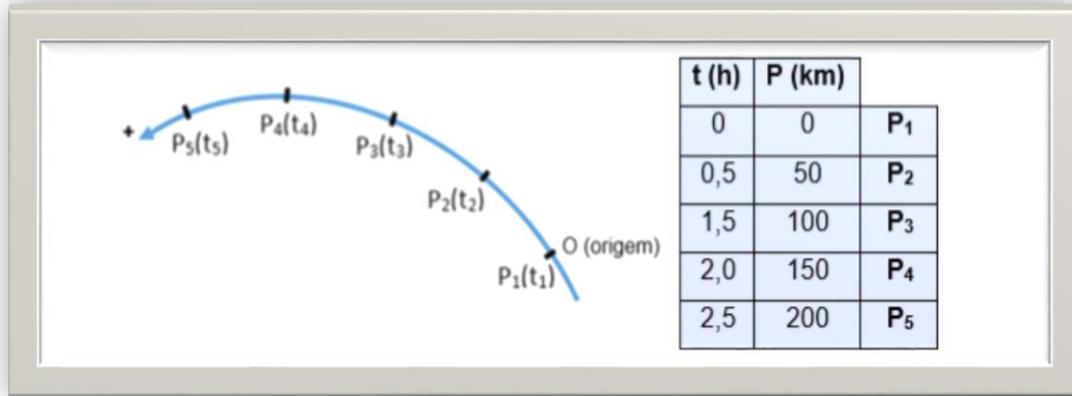
Função Horária dos Espaços: $S = S_0 + v_0.t + a.t^2/2$

EXERCÍCIO DE APLICAÇÃO DE CINEMÁTICA

Questão 1 – A distância entre duas cidades é de 120 km. Um carro realiza este percurso num tempo de uma hora e meia. Determine a velocidade média do automóvel em (a) km/h (quilômetros por hora) e em (b) m/s (metros por segundo).

Resolução:

Questão 2 - Considere o movimento de um corpo (automóvel) seguindo a trajetória representada na figura a seguir. Tanto as posições (**P**), em quilômetro, como os respectivos instantes (**t**), em horas, foram registrados pelo condutor. A tabela contém todos os dados para descrição do movimento.



De posse dos valores da tabela determine para este móvel:

- a velocidade escalar média do automóvel entre as posições P_1 e P_5 ;
- em qual trecho o automóvel manteve a maior velocidade escalar média?
- o que você tem a dizer da velocidade escalar instantânea do móvel? É possível afirmar em qual posição o corpo atingiu a maior velocidade?

Resolução:

Texto 1: AS RAÍZES HISTÓRICAS DA CINEMÁTICA

CINE... O QUÊ?

Uma simples pergunta, talvez até ingênua, mas que deixa transparecer, diante de nossos olhos, a necessidade de buscar por raízes, origens e conhecer melhor nosso conhecimento (*científico*). Talvez o que você irá encontrar aqui não tenha em seu livro, porém é muito importante e deveria lá está.

A palavra cinemática vem do grego *kinemas* e significa movimento. Simples, não é? O movimento dos corpos, em geral, sempre atraiu a curiosidade de muitos sábios, desde a antiguidade. Podemos citar alguns: *Aristóteles, Ptolomeu, Nicolau de Cusa, Jean Buridan, Philoponus, Oresme, Isaac Newton, Galileu, Kepler*. Até aí tudo bem? Nomes estranhos, talvez, porém são personagens que deram suas contribuições na construção de uma teoria do movimento.

Bem vindo à *Cinemática*.

ANTES DE CRISTO

Quando se fala em ciência ou em conhecimento científico vem na mente “grandes gênios”, como Galileu, Newton, Darwin, Einstein, dentre outros. Mas será que estes “gênios” nada devem aos seus antecessores, estudiosos anônimos, esquecidos na história? Ou será que nossos manuais, injustamente ou propositalmente, fecham os “olhos” para os verdadeiros fatos por traz das descobertas?

Que tal analisarmos mais de perto? Então vamos lá!

A nossa jornada tem início bem antes das primeiras grandes revoluções científicas (séculos XVI e XVII), antes mesmo de Cristo. Ou você acha que o movimento já não era estudado? Talvez não da mesma forma como nós o fazemos, ou com as mesmas ferramentas, ou com o mesmo propósito. Nas palavras de Mario Schemberg, podemos melhor entender este ponto:

As observações dos astros foram o ponto de partida das medidas do tempo, e podem até ter antecedido a descoberta da Agrimensura. As observações dos astros podem também ser consideradas como o ponto de partida

da cinemática, que combina as ideias geométricas com o conceito de tempo (SCHEMBERG, 2001, p. 17)

Da citação acima, pode-se concluir que o estudo da cinemática tem suas origens na observação e catálogo das posições dos astros, atividade que remonta às antigas civilizações como a Grécia, a Mesopotâmia, o Egito, a Babilônia e outras. Estamos falando de séculos antes de Cristo. Os conceitos mais elementares da Cinemática (tempo, comprimento, movimento, espaço) já estavam em evolução, apesar que não tinham o mesmo significado que hoje eles têm.

Às vezes as discussões eram puramente filosóficas, em outros momentos tomavam um caráter mais quantitativo e mecânico. Por exemplo, na Grécia havia o conceito de espaço ocupado por um objeto, mas não ainda de espaço em si, ou seja, havia uma relação íntima entre corpo e espaço ocupado por este, diferentemente da neutralidade na geometria euclidiana.

Os babilônios, séculos antes da era cristã, já haviam desenvolvidos tabelas astronômicas capaz de prevê eclipses, movimentos do Sol e da Lua e suas fases. Claro que não tinham “leis” cinemáticas para isso, mas tinham ciência da regularidade no transcorrer do tempo, assim como das posições ocupadas pelos astros nos céus.

Os modelos cosmológicos dos pensadores gregos antigos trazem em seu cerne a semente da cinemática, assim como da dinâmica (sobre a qual falaremos mais adiante). Anaximandro, contemporâneo de Tales de Mileto, teorizou o modelo de um novo espaço, que não era mais o espaço mítico, mas um espaço geométrico. No firmamento havia várias envoltórias para acomodar os corpos celestes. O Sol, assim como as estrelas, eram orifícios e numa envoltória adiante havia um fogo. As fases da Lua e os eclipses eram entendidos como “obstruções” desses furos. Esta é a primeira tentativa de um modelo mecânico para o Universo e já traz alguns elementos, semelhantes aos que encontramos na nossa Cinemática:

- A ideia de um movimento original que gera os outros movimentos
- A ideia de mudanças constantes
- A necessidade de uma lei imutável no tempo

No livro “Evolução das Ideias da Física”, de Antonio S. T. Pires, encontramos relatos de outros modelos como o de Filolao, discípulo de Pitágoras, onde pela primeira vez é imposto à Terra um movimento ao redor de uma outra entidade (um fogo central). Mas estes modelos faziam apenas alusão a alguns conceitos, sem um estudo mais sistemático.

E ARISTÓTELES?

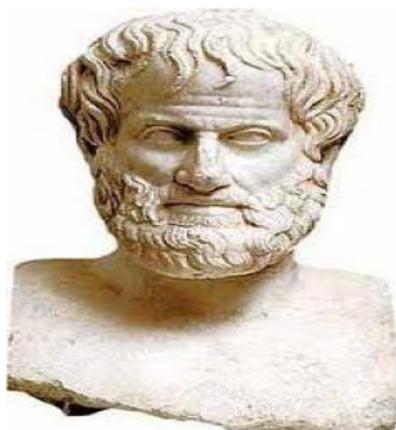


Figura 4: Busto do filósofo Aristóteles

Fonte:

<http://pensamentosnomadas.com/obra-completa-de-aristoteles-em->

Aristóteles nasceu e viveu no século IV a.C., na região da Macedônia. A filosofia grega teve seu auge com este pensador. Discípulo de Platão, em Atenas, mas não seguidor de suas ideias por completo. Sua obra abrange Lógica, Física, Matemática, Biologia, Ética, Política e Retórica. Aristóteles foi talvez o primeiro a apresentar um sistema compreensível de mundo. Foi fundamental no estudo do movimento, apesar que este mesmo movimento tenha um significado que foge ao nosso conceito atual.

ue é o movimento? Será esta sua definição compatível com àquilo que os antigos sábios pensavam? Que tipos de movimento existem? São os mesmos encontrados na filosofia de Aristóteles? Vejamos!

Na visão de Aristóteles, entender a Natureza significa entender o Movimento. Mas que movimento? Para ele o movimento é a constante mudança imposta ao ser, seja em relação à substância, à quantidade, à qualidade ou ao lugar. Uma semente movimenta-se na direção da árvore em que irá se transformar. Neste sentido, movimento é transformação, destruição, crescimento, evolução. Para ele havia dois tipos de movimento: um *natural* e outro *violento*. O primeiro produzido por causas internas e o segundo por causas externas.

Na mecânica aristotélica, o movimento natural dos corpos terrestres é vertical e reto, para o centro do Universo (Terra), enquanto dos corpos celestes era circular, conclusões provenientes da observação imediata (os astros se movimentam de leste para oeste, num arco de circunferência).

Usando essas ideias ele descreve, em sua mecânica, o movimento de projéteis e astros. Mas o que dizer da existência de diversos movimentos circulares nas proximidades da Terra? Para ele isso só era possível enquanto o corpo estivesse sob ação de um agente externo. Por exemplo, uma pedra presa na ponta de uma corda pode realizar um movimento circular, mas só enquanto há um agente forçando esse movimento. Ao cessar essa ação, a pedra deverá cair em linha reta e para baixo.

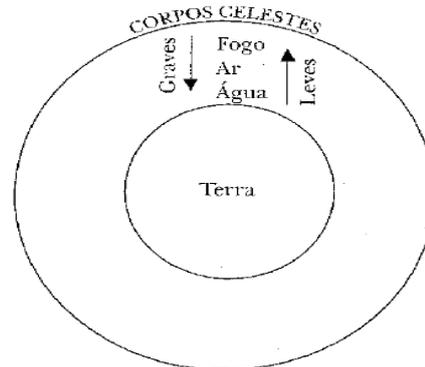


Figura 5: A teoria dos quatro elementos e dos lugares naturais.

Fonte: Retirado do livro “Origens e evolução das ideias da Física” - EDUFBA

Como você explicaria o movimento de lançamento de uma bala de canhão, este fazendo um certo ângulo com a horizontal usando as ideias aristotélicas?

Em Aristóteles, o movimento ganha um papel primordial. No entanto, este está sempre associado a uma **causa** ou a um **propósito** (sua máxima era “tudo que move é movido”). A pedra cai porque seu lugar natural é embaixo e a fumaça sobe porque seu lugar natural é acima da Terra, segundo sua **teoria dos quatro elementos**. O desvencilhamento entre cinemática e dinâmica só acontece na Idade Média.

LUZ NAS TREVAS?

A Idade Média foi considerada por muito tempo como *Idade das Trevas*. O conhecimento, hoje tido como científico, deu uma estagnada, enquanto o religioso avançava ganhando força e terreno. As teorias científicas tiveram pouca importância e a *escolástica* (escola que tentava harmonizar a razão com a fé) ganha **destaque**. No entanto, os historiadores atuais identificaram avanços em diversas áreas, além de afirmarem que o conhecimento estava a disposição da doutrina cristã. Aqui iremos pontuar avanços na Filosofia Natural, mais especificamente no estudo que chamamos de cinemática. Este período, como se vê adiante, foi peça chave na construção de um estudo do movimento, desvinculado das causas e efeitos, que mais tarde aparece no livro “Duas Novas Ciências” do italiano Galileu Galilei.

Você já ouviu falar de “a navalha de Ockham”?

William de Ockham (1285 - 1347) definiu o movimento diferente de Aristóteles. Seu princípio “as necessidades não devem ser multiplicadas além da necessidade” ou “é vão fazer com mais, o que pode ser feito com menos” também conhecido como *lei da economia*, permitiu a construção de uma nova física para o movimento. Ele está entre aqueles que primeiro fizeram a distinção entre cinemática e dinâmica. Afirmava que as leis da natureza devem ser as mais simples possíveis. Criticou alguns pontos do pensamento aristotélico:

- Tudo que se move é movido por uma outra coisa
- Movimento, que Ockham definiu como um objeto tendo existências sucessivas em lugares diferentes sem repouso intermediário e não era uma realidade separada do corpo que se movia
- Eliminou entidades aristotélicas como lugar natural, corpo pesado, corpo leve, e não se preocupou com as causas do movimento

Ele passa a descrever o movimento como mero deslocamento do corpo num intervalo de tempo e seria fútil postular outras coisas a respeito. Na sua descrição do movimento não há necessidade de uma “força”, ou qualquer outra causa, para manter o movimento, uma vez iniciado, ou seja, ele poderia ser eterno.

Já no final da Idade Média alguns pensadores já estavam abandonando o pensamento aristotélico e aderindo a novas formas de pensar o movimento. Por exemplo, Nicolau de Cusa (1401-1464), cardeal alemão, preferiu o neoplatonismo ao aristotelismo. Para ele, a Terra estava em movimento e não podia ocupar o centro do Universo. Já naquela época, ele afirmava que *lugar e movimento* não eram absolutos, pois dependiam de um observador, ou seja, eram relativos (o movimento absoluto representa o deslocamento de um corpo no espaço, enquanto o relativo representa um deslocamento de um corpo em relação a outro – é infrutífero perguntar se a Terra ou o Sol está em movimento absoluto). O **Colégio de Merton**, em Oxford, foi de grande importância neste processo e na elaboração de uma teoria do movimento em moldes parecidos ao que conhecemos hoje (cinemática). Abaixo algumas contribuições dos *mertonianos* (Elika Takimoto, História da Física em Sala de Aula, 2009)

- Uma clara distinção entre descrição do movimento e causa do movimento.

- A definição de velocidade como deslocamento no tempo e a conceitualização de velocidade instantânea
- A definição de aceleração como variação da velocidade no tempo
- O estudo dos movimentos uniformes e acelerados
- Estudo gráfico das grandezas cinemáticas em função do tempo: eles traçaram gráficos $v \times t$
- A formulação e demonstração do Teorema da Velocidade Média, usada por Galileu mais tarde

O Teorema da Velocidade Média foi primeiramente demonstrado pelos mertonianos. Nicolau de Oresme (1325-1382) demonstrou a validade do teorema geometricamente. Abaixo uma figura contendo trecho do livro “O Nascimento de Uma Nova Física” de I. Bernard Cohen, ilustrando melhor o contexto da demonstração do citado teorema.

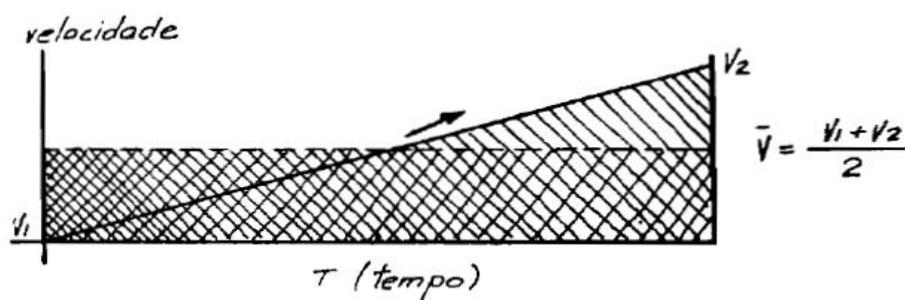


Figura 6: Teorema da Velocidade Média¹.

Fonte: Retirado do livro “O Nascimento de uma nova Física” (I. Bernard Cohen)

Questionamentos ...

1. Como foi possível a partir da “lei da economia” desvencilhar (separar) a Cinemática da Dinâmica?
2. O Princípio de Relatividade, citado na página 13, teve fundamental importância na Teoria Heliocêntrica de Copérnico, a qual estabelece a possibilidade do Sol está em repouso no centro do Universo. Identifique esta importância.

¹ Nicole Oresme, de Paris, usou a Geometria para provar que um corpo uniformemente acelerado, a partir de uma velocidade V_1 até à velocidade final V_2 , percorreria a distância D no intervalo de tempo T em que o faria se se tivesse movido com velocidade constante V , média aritmética de V_1 e V_2 . Admitiu que a área sob o gráfico da velocidade em função do tempo seria a distância D . Para o movimento uniformemente acelerado, a apresentação seria uma linha inclinada, e para o movimento uniforme seria uma reta paralela ao eixo dos tempos. A área sob a primeira seria a de um triângulo, ou $\frac{1}{2} T \times V_2$. A área sob a segunda seria a área do retângulo, ou $T \times \frac{1}{2} V_2$, a altura do triângulo sendo duas vezes a do retângulo. As áreas, e portanto as distâncias percorridas, seriam iguais.

3. Que novidades estão explícitas no Teorema da Velocidade Média demonstrado pelos mertonianos?

E finalmente...

“Não existe nada anterior ao MOVIMENTO e, com referência a ele, não poucos e pequenos volumes foram escritos pelos filósofos” (Galileu Galilei, 1638)

“Entender o movimento significa entender a natureza” (Aristóteles)

Nas palavras de Galileu e Aristóteles percebemos a importância do estudo do movimento. Nos outros passos iremos dá continuidade a esse estudo!!!



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

PROPOSTA DIDÁTICA – PASSO 2

AUTOR: José Francisco Martins de Sousa

DISCIPLINA: Física – Módulo I

TEMA: O papel dos experimentos históricos na reaproximação entre História da Ciência e o Ensino de Ciências.

SUBTEMA: O plano inclinado na construção de uma cinemática galileana

OBJETIVO: Resgatar experimentos históricos e sua real importância na compreensão da Física como construção do homem, como cultura, e gerar novos momentos de discussão e aprendizagem.

Esta atividade consiste em uma releitura da obra “Duas Novas Ciências” de Galileu Galilei

Momento de Aprendizagem – Passo 2 – 03 aulas

Texto 2: AS RAÍZES HISTÓRICAS DA QUEDA LIVRE

AS IDEIAS DE ARISTÓTELES SOBRE O MOVIMENTO DOS GRAVES

Nos tempos de Aristóteles haviam duas ideias fundamentais a respeito do *ser* e o *não ser*: a da escola heraclitiana² e a da escola eleática³. Tais propostas tentavam resolver o conflito na estabilidade do conceito do ser. Que conflito? A problemática era “*como algo que é pode deixar de ser*”? Ou seja, como explicar o movimento? Para os heraclitianos a natureza é perpetuamente mutável, enquanto para os eleáticos o ser permanece sempre da mesma forma, imutável, e o movimento era pura ilusão gerada por nossos sentidos.

O Filósofo grego Aristóteles solucionou o problema do movimento acrescentando novos elementos no seio de sua Teoria: ele afirmou que os corpos terrestres são formados por terra, água, fogo e ar, enquanto que os corpos celestes são constituídos por um quinto elemento, o *éter* ou *quintessência*, o qual é incorruptível e eterno, sem sombras de mudança. Para ele movimento representa a passagem do *ser em potência* ao *ser em ato* ou *ser realizado*. As causas do movimento seria de natureza *material*, *formal*, *eficiente* ou *final*. A corruptibilidade é um “ingrediente” presente em todas as coisas terrestres, porque é uma característica da matéria que as compõem (terra, água, fogo e ar).

Você está confuso? Vejamos alguns exemplos:

² Heraclitiano vem de Heráclito, filósofo natural de Éfeso. Defendia a ideia de que o Ser está em constante e eterno movimento, o que significa que todas as coisas não param de mudar, evoluir e de se mover. Sua máxima era “É impossível banhar-se duas vezes no mesmo rio”.

³ Escola Eleática foi fundada na Heléia que era uma região da Grécia Antiga, hoje costa da Itália. Lá nasceu o filósofo Parmênides para o qual o movimento, a evolução ou a mutação de qualquer coisa ou objeto é o Não-Ser. O Ser preenche todo o espaço ... o Ser é imutável, eterno e imóvel. Mudança, transitoriedade, movimento e o vácuo são o Não-Ser e, portanto, irrealis e ilusórios.

- **Uma cadeira é constituída de madeira:** a madeira é a *matéria* que pode assumir indefinidas formas (ela é corruptível, pode ter movimento, pode mudar) e ela significa o *ser em potência* – potência em se transformar e assumir muitas formas – enquanto a cadeira é a forma e é o *ser em ato*.
- **Semente de um vegetal:** a semente representa o *ser em potência*, potência em se transformar numa determinada árvore que seria o *ser realizado*.
- **Um feto humano:** o feto é o *ser em potência* que irá evoluir (movimentar-se) na direção de um futuro bebê (*ser em ato*).

Já os corpos celestes, segundo Aristóteles, já são perfeitos e não carecem de mudança em sua essência, mas podem ter apenas deslocamentos físicos. Isto é provado pelos sentidos, pois em nenhuma época houve qualquer alteração registrada nos seres celestiais. Desta forma o Universo estava dividido em duas partes: o *mundo sublunar* (da Terra à Lua) e o *mundo supralunar* (da Lua até a esfera das estrelas fixas). Assim está constituído o *Cosmo* para ele.

Para este grande pensador todo movimento tem uma causa, sua máxima era “tudo que move é movido”. Isto equivale dizer que para iniciar um movimento ou para manter um corpo em movimento é preciso uma “ação” ou uma “causa” interna ou externa ao mesmo corpo. A causa eficiente é o **agente** que produz o resultado e a causa final, por sua vez, seria a **finalidade** da mudança, para onde o corpo tende (a finalidade de uma semente é transformar-se numa árvore, por exemplo). Em termos mais atuais a causa eficiente pode ser identificada com o conceito de força.

Movimento violento e movimento natural

No pensamento aristotélico não é importante dizer *porque* um corpo se desloca, mas *para que* ele se desloca. Daí surge a ideia de *lugar natural* de um corpo. Um corpo terrestre se movimenta para alcançar seu lugar natural. Dependendo de que é feito o corpo, este pode ter posições acima ou abaixo de outros. O lugar natural do elemento terra era na parte mais inferior, enquanto o

elemento fogo na parte mais superior. A figura abaixo ilustra as ideias de Aristóteles.

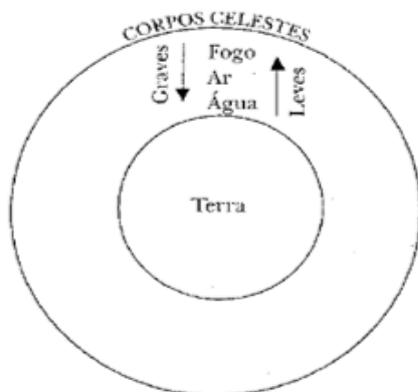


Figura 7: A teoria dos quatro elementos e dos lugares naturais.

Fonte: Retirado do livro “Origens e evolução das ideias da Física” - EDUFBA

Daí fica explicado porque corpos mais pesados (graves), como uma pedra, tende a cair na direção do centro da Terra, quando soltos de uma altura, enquanto a fumaça de uma fogueira sobe até regiões mais altas. Isto significa que quando um corpo é retirado de seu lugar natural, eles tendem retornar, realizando um movimento também natural. Logo o corpo guarda com o lugar uma certa “relação”. Mas não somente estes exemplos de movimentos existem. No texto “As raízes

históricas da cinemática” fizemos referência ao movimento de uma pedra presa na extremidade de um barbante. Um agente pode impor a esta pedra um movimento circular, que não é seu movimento natural, mas aquilo que Aristóteles chamou de movimento violento. Ao cessar a ação do agente externo, a pedra cairá em linha reta dirigindo-se ao seu lugar natural.

Queda dos corpos segundo a Teoria de Aristóteles

A queda dos graves (corpos pesados) nas proximidades da superfície terrestre é compreendida em função desse “desejo” do corpo retornar ao seu lugar natural. Eles tendem a movimentar-se para o centro do Universo, que neste caso coincidiria com o centro da Terra. Para ele um objeto cai porque está em busca de seu lugar e, ao encontrá-lo, fica em repouso por não haver mais uma causa final para seu movimento. Mas sabemos que há corpos mais pesados que outros... E Aristóteles aceitava que o peso do corpo influenciaria na queda de um grave – não só o peso como também a resistência do meio. Para o pensador quanto maior o peso maior a velocidade de queda, em outras palavras, mais rápido o corpo chega ao seu lugar natural e quanto maior a resistência do meio menor a velocidade, mais o corpo demora “cair”. Podemos até escrever em

forma de equação os resultados das observações de Aristóteles, usando a Álgebra atual:

$$\frac{P}{R} = V \quad eq(1)$$

onde P é o peso, R é a resistência do meio e V a velocidade. O raciocínio do sábio grego é puramente intuitivo, no sentido de ser baseado na observação imediata. Ao soltar da mesma altura uma bolinha de chumbo e uma bolinha de papel, podemos sem medo de errar afirmar que a mais pesada chega primeiro ao chão. Às vezes a física de Aristóteles é também chamada de a física do senso comum, pois não se baseia num método mais rigoroso para se chegar aos resultados e fatos.

E quanto a um corpo lançado obliquamente, tipo uma bala de canhão? No pensamento aristotélico só pode haver um movimento de cada vez, logo isso impõe que a subida é descrita por uma reta ascendente e, ao cessar a causa externa, a bala cairia em linha reta para seu lugar natural. A figura abaixo ilustra a situação.

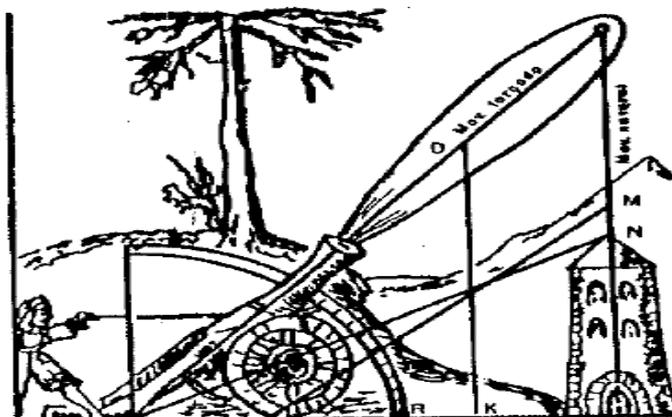


Figura 8: O movimento de projéteis, segundo Aristóteles

Fonte: Retirado do livro "Origens e evolução das ideias da Física" - EDUFBA

Alguns Questionamentos:

1. A máxima de Aristóteles era "tudo que move é movido", segundo o texto acima. Isto equivale dizer que para um corpo mover-se é preciso uma ação, uma força, um agente atuando, como no caso de uma carroça sendo puxada por cavalos. Mas um caso bem conhecido de todos é que um objeto ao ser lançado para cima, ele sobe verticalmente e tem sua

velocidade reduzida até o ponto mais alto. Mas enquanto ele sobe, quem está impulsionando? Como este fato é explicado dentro da teoria de Aristóteles?

2. Considere o objeto do item anterior. Há resistência na subida? Quem exerce esse papel? Isto é compatível com a resposta anterior?
3. A velocidade de queda é para o aristotelismo proporcional ao peso do corpo. Será isso verdade? Identifique um fato a favor e outro contrário a este argumento.
4. Como é o movimento natural dos corpos pesados próximo à superfície terrestre? E como é o movimento natural dos corpos celestes? Com base em que Aristóteles dá suas explicações para esses movimentos?
5. O pensador grego afirmava ser os corpos celestes incorruptíveis, ou seja, eternos, perfeitos, imutáveis em sua essência. Você concorda ou discorda? Discuta com seus colegas e professor a respeito da incorruptibilidade dos céus.
6. Há algum tipo de movimento que pode ser eterno na teoria aristotélica do movimento?
7. A partir da ideia do lugar natural, você consegue identificar se a Terra está em repouso ou em movimento? Discuta no grupo.

○ ESTUDO DA QUEDA LIVRE APÓS ARISTÓTELES

Aqui irei apenas pontuar alguns avanços no estudo dos graves, seja os mesmos contrários ou a favor das ideias de Aristóteles, que perduraram como a única teoria do Universo completa, estudada e analisada em diferentes regiões e até mesmo adaptadas pela fé cristã. Mas primeiramente digo algo a mais. As pessoas, em geral, tendem a interpretar e compreender os fatos referentes ao movimento pensando numa Terra em repouso, mesmo estando convencidas do movimento diário e anual de nosso planeta. No entanto, estas mesmas pessoas não conseguem elaborar, em seu pensamento, ideias explicativas dos fenômenos com a Terra em movimento, logo porque isto é contra-intuitivo (ora, se a Terra estivesse de fato em movimento, sem dúvida deixaria para trás a Lua, segundo o aristotelismo, sem falar que não sentiríamos nenhum movimento a não

ser alguns tremores devido ao às placas tectônicas). E esta discussão se concentrou no tema que queremos esclarecer – queda dos corpos.

Um problema é válido para manter a discussão:

“Suponha que vamos ao topo de uma torre, ou no 3º andar de um prédio, e deixemos cair dois objetos, tipo duas bolas idênticas, uma pesando 10 kg e a outra apenas 1 kg. Qual delas tocaria o solo em primeiro lugar? E quanto tempo antes da outra o faria? Quem atingiria o solo com maior velocidade?”

Abaixo algumas soluções registradas.

- **Aristóteles:** a bola mais pesada chegaria não só num tempo mais curto como também com uma velocidade dez vezes maior.
- **Joannes Philoponus (João, o Gramático):** Philoponus, um erudito bizantino, no século VI, andava estudando esta questão (não exatamente da mesma forma como aqui elaborada). Ele afirmava que as experiências contradiz as opiniões aceitas a respeito. Para ele uma “observação real” era muito mais convincente que qualquer argumento verbal e filosófico.

"Porque, se você deixar cair da mesma altura dois corpos, um dos quais é muitas vezes mais pesado que o outro, verá que a razão dos tempos gastos no movimento não depende da razão dos pesos, mas que a diferença em tempo é muito pequena. E, assim, se a diferença em pesos não é considerável, a saber, se um é, digamos, o dobro do outro, não haverá diferença, ou então uma diferença imperceptível em tempos, embora a diferença em peso não seja de modo algum desprezível, com um corpo pesando duas vezes mais que o outro."

- **Um milênio após Philoponus, o engenheiro, físico e matemático Simon Stevin realizou a experiência:** Stevin estava mais preocupado em provar o erro de Aristóteles. Ele descreveu sua experiência da seguinte forma:

"A experiência que contradiz Aristóteles é a seguinte: Tomemos (como o ilustre Sr. Jan Cornets de Groot,

grande investigador dos segredos da Natureza e eu próprio fizemos) duas esferas de chumbo, uma dez vezes maior e mais pesada que a outra e deixemo-las cair juntas, de uma altura de 10 metros numa tábua ou em alguma coisa sobre a qual elas produzam um som perceptível. Verificar-se-á então que a mais leve não levará dez vezes mais tempo no seu caminho do que a mais pesada, mas que elas caem praticamente juntas sobre a tábua, a ponto de seus dois sons parecerem uma única pancada seca "

- **Avempace (1106-1138)**: filósofo árabe espanhol, defendeu as ideias de Philoponus e refutou as afirmações de Aristóteles de que o tempo de queda de um corpo é diretamente proporcional à densidade e, portanto, à resistência do meio por onde se movimenta o corpo.
- **Thomas Bradwardine (1290-1343)**: matemático do Colégio de Merton; ele concluiu que dois corpos homogêneos de tamanhos diferentes e, portanto, de pesos diferentes, cairiam no vácuo com velocidade iguais; ele foi o primeiro a fazer uma análise matemática detalhada do movimento.
- **Girolamo Borro**: Professor em Pisa, este pensador afirmou num livro de 1575 que deixou cair bocados de madeira e chumbo, de igual peso mas de diferentes tamanhos e descobriu que “o chumbo caiu mais devagar”. Afirmou que a experiência tinha sido feita “não uma mais muitas vezes” e “com o mesmo resultado”. Este mesmo resultado foi registrado também por Galileu Galilei, que disse que corpos mais leves avançam mais rapidamente no início do movimento de queda.

As referidas tentativas de diferentes pensadores, em várias épocas, demonstram o interesse no estudo da natureza da queda dos corpos. Este estudo culmina com o trabalho do italiano Galileu, o personagem central de nossa discussão, que fez um estudo pormenorizado para a época, estabelecendo novos métodos.

GALILEU GALILEI

Notas biográficas

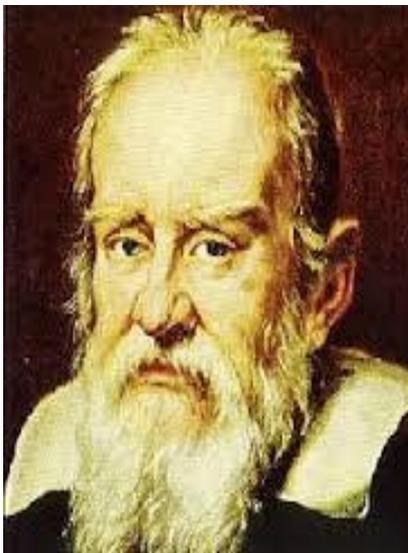


Figura 9: Galileu em sua velhice

Fonte:

<http://www.infoescola.com/biografias/galileu-galilei/> Acessado em: 04/07/16

Galileu Galilei (1564-1642) nasceu na cidade de Pisa, Itália. Filho de Vincenzo Galileu, um nobre empobrecido, mas culto, com habilidades em Matemática e Música. Galileu, aos dezessete anos, foi estudar medicina na Universidade local, porém não conseguiu concluir o curso devido sua condição financeira e voltou-se para as investigações científicas e estudos da Matemática, apesar da opinião contrária de seu pai, que não desejava este destino para o filho. De 1585 a 1589 Galileu ministrou aulas particulares de Matemática em Florença e lecionou em escolas públicas e particulares em Siena.

Traços pessoais

Galileu tinha estatura média, um corpo anguloso, de aparência e disposição joviais. Seu biógrafo, Viviani, comentou que ele era tão rápido para se irritar quanto para se acalmar. Era um professor extraordinário e ótimo orador e suas aulas eram muito frequentadas. Tanto a prudência quanto a audácia estavam presentes na personalidade de Galileu. Em Pisa, logo atribuíram-lhe a alcunha de “o discutidor” devido seus questionamentos, sarcasmo e ironia. Tornou-se adepto do sistema copernicano e para aqueles que não o entendiam ou não o aceitavam reservava o título de idiotas e pigmeus mentais. Devido a posicionamentos como este ele também agregou muitos inimigos.

O Telescópio

Um holandês polidor de lentes, Hans Lipperhey, havia requerido, em outubro de 1608, a patente de um dispositivo que fazia os objetos distantes parecerem próximos. Galileu ouviu discussões sobre essa novidade durante uma visita a Veneza em julho de 1609 e foi informado por um amigo pessoal

(Sarpi) que o dispositivo realmente existia. Retornou imediatamente a Pádua, pois diziam que um forasteiro tinha um exemplar, mas ao chegar tal forasteiro já havia partido e levado consigo o instrumento. Apressadamente Galileu resolve construir seu próprio objeto de aumento. Ao final das contas ele obteve um instrumento de observação muito mais potente, que lhe garantiu um emprego vitalício como professor da universidade, pois este aparelho era muito útil na marinha. Ele direcionou este instrumento (luneta terrestre ou telescópio), pela primeira vez, para os céus no início de 1610, com resultados espantosos. Galileu não foi o único observador a apontar o novo instrumento para os céus. É mesmo possível que dois observadores – Thomas Harriot na Inglaterra e Simon Marius na Alemanha – o tenham precedido. Mas parece haver geral acordo em que o crédito por ter usado em primeiro lugar o telescópio para fins astronômicos – pode ser dado a Galileu, pelo "modo persistente pelo qual ele examinou objeto após objeto, sempre que parecia haver perspectiva razoável de posteriores resultados, pela energia e grandeza com que seguiu cada indicação, pela independência de espírito com que interpretou suas observações. A Lua apresentava uma superfície imperfeita, cheia de crateras e montanhas, descobriu que quatro satélites viajam ao redor de Júpiter, registrou as manchas solares, as fases de Vênus, os anéis de Saturno e seu aspecto oval, além de miríades de estrelas em nossa Galáxia, jamais observadas. Muitas destas descobertas enfraqueceram o sistema de mundo dos gregos, principalmente a respeito da incorruptibilidade dos céus. Isto trouxe fama a Galileu, amigos e admiradores ilustres como nobres, cardeais e o próprio papa.

Principais Obras

Podemos destacar duas principais obras de Galileu

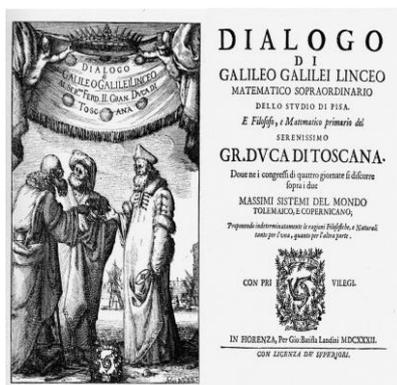


Figura 10: Imagem do livro Diálogo

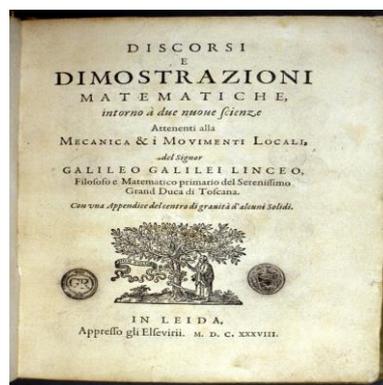


Figura 11: Imagem do livro Duas Novas Ciências de Galileu

Diálogo Sobre os Dois Principais Sistemas do Mundo, Ptolomaico e Copernicano: A obra tem a forma literária de uma discussão entre um representante de Copérnico (Salviati), outro de Ptolomeu e Aristóteles (Simplício), e um leigo culto, Sagredo, cujo apoio os outros dois procuram obter. O livro é uma defesa do sistema copernicano, que adota o Sol como o centro do Universo. O livro não é a palavra final a respeito do problema da imobilidade da Terra, mas somente estabelece a possibilidade de uma teoria do movimento com a Terra fora do repouso e que todos os argumentos aristotélicos que tentam provar que a Terra está parada, podem ser refutados.

Discurso e Demonstrações Matemáticas em Torno de Duas Novas Ciências: Segue o mesmo modelo de o *Diálogo*, com uma discussão em quatro jornadas entre os três personagens já citados. Esta obra foi escrita durante sua prisão domiciliar (ele foi condenado pela Igreja Católica por heresia) e publicada no ano de 1638. As duas novas ciências seriam “a resistência dos materiais” e o “estudo do movimento”. Historiadores especialistas em Galileu afirmam que todos os teoremas sobre o movimento naturalmente acelerado que ele apresenta na terceira jornada foram descobertos praticamente entre 1604 e 1609. *As duas Novas Ciências* mostram que Galileu é o primeiro físico no sentido moderno, pois é o primeiro a perceber que a justificação e aceitação da hipótese copernicana não dependem apenas da evidência astronômica, mas também de sua concordância com as leis da Mecânica.

A lei da queda livre

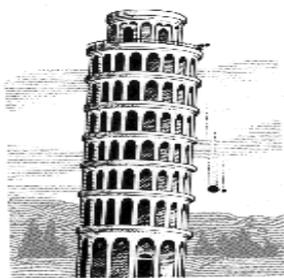


Figura 12: Desenho ilustrando a queda de duas bolas da Torre de Pisa

Fonte: <http://para-fisica.blogspot.com/2009/08/pena-e-o-martelo-na-lua.html> Acessado em: 04/07/16

Pelas leituras anteriores percebemos que o estudo do movimento, em especial o de queda livre, era bastante discutido entre estudiosos do tema, geralmente professores das universidades e filósofos. Além disso, a obra de Copérnico gerou um clima de instabilidade, já que suas ideias se confrontavam com aquelas ensinadas pela Igreja Católica, que detinha o conhecimento na época. E Galileu, já adepto do copernicanismo, trata de levar esse estudo

até às últimas consequências, disposto a pagar com sua própria liberdade.

Ao estudar o problema da queda dos corpos, Galileu, sabemos, fez experiências nas quais deixou cair objetos de elevações e, nos dias de sua mocidade em Pisa de uma torre. Não podemos dizer se esta foi a famosa Torre inclinada de Pisa, ou alguma outra; os assentamentos que fez nos dizem meramente que foi de uma torre. Posteriormente, seu biógrafo Viviani, que conheceu Galileu nos seus últimos anos, contou uma história fascinante, que desde então criou raízes como uma lenda sobre Galíleu.

"Desejando refutar Aristóteles, subiu à Torre inclinada de Pisa, "na presença de todos os outros professores e filósofos e de todos os estudantes", e, "por experiências repetidas" provou "que na velocidade de corpos em movimento constituídos do mesmo material e de massas desiguais, movendo-se através do mesmo meio, os tempos de queda não são inversamente proporcionais às suas massas como afirmara Aristóteles, mas que eles se movem com igual velocidade ..."

Tal experiência, se realizada, só poderia ter o objetivo de provar o erro de Aristóteles, segundo I. Bernard Cohen. Mas o importante é que os resultados não concordam com os dados do próprio Galileu, porque, como mencionado anteriormente, explicou Galileu muito cuidadosamente que corpos de tamanhos desiguais não atingem exatamente a mesma velocidade, alcançando o mais pesado dos dois a Terra, um pouco antes do mais leve. Embora vibrassem novo golpe em Aristóteles, as experiências da Torre de Pisa ou outra qualquer, não revelaram certamente a Galileu uma lei nova e correta sobre a queda dos corpos. Entretanto, a formulação da lei foi um dos seus grandes feitos.

Galileu assumiu que outros já tinham verificado que um corpo em queda acelera continuamente, no entanto ele foi mais adiante, revelando como se dá essa aceleração. Assumindo que a Natureza deve agir da forma mais simples (você lembra do princípio de Ockham?) ele afirmou:

"Quando ... observo uma pedra, inicialmente em repouso, caindo de uma posição elevada e

continuamente adquirindo novos incrementos de velocidade, por que não hei de acreditar que tais aumentos ocorram de maneira que é extremamente simples e óbvia para qualquer pessoa? Se agora examinarmos a matéria cuidadosamente, não achamos adição ou incremento mais simples do que aquele que se repete sempre do mesmo modo”

Galileu escreveu ao seu amigo Fra Paolo Sarpi, sobre esse mesmíssimo assunto. Nessa carta, Galileu admitiu que a lei correta da queda livre dos corpos é aquela na qual a velocidade aumenta proporcionalmente à distância percorrida na queda. Partindo desta hipótese Galileu erroneamente acreditou poder deduzir que a distância percorrida na queda deveria ser proporcional ao quadrado do tempo:

$$V \propto D \quad \rightarrow \quad D \propto t^2 \quad eq(2)$$

Entre a carta escrita a Sarpi e o aparecimento de *As Duas Novas Ciências* (1638) Galileu corrigiu o seu erro, admitindo agora que a velocidade é proporcional ao tempo, que também é uma relação simples, como ele mesmo exigia:

$$V \propto t \quad \rightarrow \quad D \propto t^2 \quad eq(3)$$

Assim a velocidade de um corpo que cai, a partir do repouso, aumenta na mesma proporção que os números naturais 1, 2, 3 ... enquanto os espaços D_1 , D_2 , D_3 que ele percorre a intervalos de tempo iguais e consecutivos estão entre si como os números ímpares, 1, 3, 5, 7 ... Isto revela a influência platônica e pitagórica no método de Galileu, já que também acreditava que as leis da Natureza poderiam ser expressas por números e as relações entre tais.

Uma conclusão geral de Galileu muito importante: quando a resistência se torna tão grande que iguala o peso do corpo que cai, a resistência do ar "evitará qualquer aumento em velocidade e tornará o movimento uniforme". Isto te faz lembrar de algum princípio?

O processo de Galileu, tal como o descrevemos, assemelha-se ao usado pelos maiores cientistas, mas difere radicalmente do que é comumente descrito nos compêndios elementares como "método científico". Em geral dizemos que o primeiro passo é "coletar todas as informações importantes", e assim por diante. O método usual de proceder, dizem-nos, é colher um grande número de observações, ou realizar uma série de experiências, depois classificar os resultados, generalizá-los, procurar uma relação matemática e, finalmente, descobrir uma lei. Mas Galileu procede sentando-se à sua mesa com papel e lápis, pensando e criando idéias. Começa com uma convicção fundamental de que a Natureza é simples. Torna-se claro, do que foi exposto, que o objetivo das observações e experiências, tais como a da queda livre, não era a formulação de uma lei, mas simplesmente certificar-se que de fato tais acelerações, como as discutiu Galileu, podem realmente ocorrer na Natureza.

Alguns Questionamentos:

1. Quais descobertas de Galileu, segundo o texto, enfraqueceram a ideia de *Cosmo* de Aristóteles? Explique e discuta com seus colegas.
2. Na conclusão de Philoponus há uma *pequena diferença de tempo* na queda dos corpos de diferentes pesos. A quem você como investigador atribui esta *pequena diferença*?
3. Um resultado muito intrigante, até pouco tempo, é que Galileu em sua obra havia dito que um corpo mais leve, no início da queda, avança na frente do mais pesado. Como você justificaria este resultado também encontrado por Girolamo Borro?
4. Um famoso historiador da Ciência, Alexander Koyré, publicou um livro cujo título era "*Estudos Galilaicos*". Neste livro ele desenvolveu a ideia de que Galileu não recorreu à experiências como se havia acreditado. Em resumo, ele acha que há uma tendência exagerada a crer que este grande físico descobriu suas leis graças à observação e à experimentação cuidadosa, como no caso da queda dos graves na Torre de Pisa. Lendas, afirmou Koyré. As famosas experiências foram, na verdade, marginais e até inúteis ou mesmo imaginárias. E você concorda ou discorda de Koyré? Em outras etapas retornaremos a esta pergunta.
5. Galileu não atribuiu valor a aceleração de queda dos corpos, apenas as devidas proporções entre espaços, velocidades e tempos. Por quê?



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

PROPOSTA DIDÁTICA – PASSO 3

AUTOR: José Francisco Martins de Sousa

DISCIPLINA: Física – Módulo I

TEMA: O papel dos experimentos históricos na reaproximação entre História da Ciência e o Ensino de Ciências.

SUBTEMA: O plano inclinado na construção de uma cinemática galileana

OBJETIVO: Resgatar experimentos históricos e sua real importância na compreensão da Física como construção do homem, como cultura, e gerar novos momentos de discussão e aprendizagem.

Esta atividade consiste em uma releitura da obra “Duas Novas Ciências” de Galileu Galilei

Momento de Aprendizagem – Passo 3 – 03 aulas

Texto 2 O PLANO INCLINADO: OBJETO DA CINEMÁTICA GALILEANA

O MOVIMENTO NATURALMENTE ACELERADO

Nos *Discursos e Demonstrações Matemáticas Concernentes a Duas Novas Ciências* o autor, o italiano Galileu Galilei, trata daquelas que seriam as duas novas ciências: a resistência dos materiais e o estudo do movimento. Aqui iremos apenas apresentar as partes mais relevantes para finalização da pesquisa, como as definições, corolários, diálogos e experimentos, quando necessário.

-//-

TERCEIRA JORNADA

SALVIATI LENDO UM LIVRO DE GALILEU

DO MOVIMENTO LOCAL

-//-

DO MOVIMENTO UNIFORME

Para o movimento constante ou uniforme daremos uma única definição que formulo desta maneira:

DEFINIÇÃO

Entendo por movimento constante ou uniforme aquele cujos espaços, percorridos por um móvel em tempos iguais quaisquer, são iguais entre si.

ADVERTÊNCIA

Parece oportuno acrescentar à velha definição⁴ (que chama simplesmente de movimento uniforme àquele que, em tempos iguais,

⁴ Num sumário de 1369 (por João de Holanda) aparece uma definição do movimento uniforme como aquele em que "o corpo atravessa espaços iguais em intervalos de tempos iguais", desmintindo Galileu, por ter afirmado ser o primeiro a definir o movimento uniforme. No entanto,

percorre espaços iguais) a palavra quaisquer (quibuscumque), ou seja, para todos os tempos iguais: pode, efetivamente, acontecer que um móvel percorra espaços iguais em tempos determinados, ainda que não sejam iguais os espaços percorridos em frações menores e iguais desses mesmos tempos. Da definição dada, dependem quatro axiomas ...

-//-

A descrição do movimento na obra é resultado de uma análise geométrica, o que é inovador em Galileu, torna-se uma nova forma de análise do movimento iniciada pelos mertonianos.

Quando ele compara intervalos de tempo e distâncias percorridas com segmentos de retas, está deixando claro que as verdades da Natureza só podem ser reveladas através de relações geométricas e por números e suas relações, isto equivale a uma herança pitagórica, escola que preconizava que todos os segredos da Natureza podem ser encontrados nos números e nas figuras geométricas. Galileu sempre compara tempo com tempo e distância com distância e nunca admitia ser possível a razão entre distância e tempo e, conseqüentemente, diferencia-se da nossa habitual maneira de definir velocidade (média ou instantânea).

Movimento Uniformemente Acelerado

Após analisar as propriedades do movimento uniforme, Galileu volta-se para o movimento acelerado. O problema fundamental que ele tinha em mente era determinar uma definição que melhor se ajuste a natureza. Não se tratava de qualquer movimento acelerado, mas exatamente aquele que pode-se inferir naturalmente, daí ter chamado este movimento de *movimento naturalmente acelerado*. Numa perspectiva investigativa, trabalhando na elaboração de ideias e formas de experimentá-las, Galileu trata da queda de corpos pesados próximos à superfície da Terra, sempre considerando que estes movimentos devem ser o mais simples possível. A seguir você encontrará na forma exposta nas *Duas Novas Ciências* as descobertas feitas pelo físico italiano.

fique atento no fato de Galileu acrescentar o termo quaisquer o que daz uma grande diferença no rigor da definição.

“Chamamos movimento igualmente, ou seja, uniformemente acelerado, àquele que, partindo do repouso, adquire em tempos iguais momentos iguais de velocidade”

-//-

DO MOVIMENTO NATURALMENTE ACELERADO

Tendo tratado, no livro anterior, das propriedades do movimento uniforme, examinemos minuciosamente o movimento acelerado. (...) visto que a natureza se serve de uma forma determinada de aceleração na queda dos graves, não é inconveniente estudar suas propriedades, fazendo com que nossa definição do movimento acelerado corresponda à essência do movimento naturalmente acelerado. (...)

Quando, portanto, observo uma pedra que cai de uma certa altura a partir do repouso e que adquire pouco a pouco novos acréscimos de velocidade, por que não posso acreditar que tais acréscimos de velocidade não ocorrem segundo a proporção mais simples e mais óbvia? Se considerarmos atentamente o problema, não encontraremos nenhum acréscimo mais simples que aquele que sempre se repete da mesma maneira. (...) Por este motivo acreditamos que não nos afastamos da justa razão, se admitimos que a intensificação da velocidade é proporcional à extensão do tempo (...)

-//-

Ele estava convicto que um corpo em queda livre é um exemplo natural de movimento uniformemente acelerado e passa a investigá-lo. É fácil concluir que na queda livre, para o autor, a velocidade cresce como os números naturais 1, 2, 3 ... em intervalos de tempo iguais, ou seja, a velocidade no segundo intervalo de tempo será o dobro da velocidade no primeiro intervalo, enquanto a velocidade (ou grau de velocidade como ele dizia) no terceiro intervalo de tempo é o triplo da velocidade no primeiro intervalo e assim por diante. Mais uma vez percebemos a importância das relações entre os números na análise do autor.

A DESCRIÇÃO DO PLANO INCLINADO⁵

Embora o aspecto numérico da investigação feita na obra seja satisfatório para Salviati, o personagem que no *Discurso* fala por Galileu, e para Sagredo, o homem de educação geral e boa vontade que habitualmente apóia Galileu, este último reconhece que este ponto de vista platônico dificilmente pode satisfazer um aristotélico. Veja abaixo o que Simplicio fala desse método de investigação imposto pelo autor.

Simplicio – *Tive verdadeiramente mais prazer com esta simples e clara argumentação do Sr. Sagredo do que com a demonstração do Autor, para mim mais obscura, de modo que estou plenamente convencido de que as coisas se passam assim, uma vez enunciada e aceita a definição do movimento uniformemente acelerado. Mas, se é essa a aceleração da qual se serve a natureza no movimento de queda dos graves, tenho no momento minhas dúvidas. Parece-me, pelo que diz respeito a mim e a outros que pensam como eu, que teria sido oportuno neste lugar apresentar uma das muitas experiências que, em diversos casos, concordam com as conclusões demonstradas.*

Salviati – *Como verdadeiro homem de ciência, sua exigência é muito razoável; pois é assim que convém proceder nas ciências, que aplicam as demonstrações matemáticas aos fenômenos naturais como se observa no caso da Perspectiva, da Astronomia, da Mecânica, da Música e de outras, as quais confirmam com experiências sensatas seus princípios, que são os fundamentos de a toda estrutura ulterior. (...) Pelo que se refere às experiências, o autor não deixou de fazê-las; e para assegurar-se de que a aceleração dos graves, que caem de modo natural, acontece na proporção acima afirmada encontrei-me muitas vezes em sua companhia, procurando tal prova da seguinte maneira.*

"Tomou-se um pedaço de madeira de mais ou menos 6 metros de comprimento, 25 centímetros de largura e três dedos de espessura; na sua borda cavou-se um canal de pouco mais de um dedo de largura; tendo feito este sulco bem reto, liso e polido, e tendo-o forrado com pergaminho,

⁵ Problemas envolvendo o plano inclinado já haviam sido considerados por Herão de Alexandria, João Numerário, Benedetti e Gerolamo Cardano. Já era conhecido que o peso efetivo de um corpo em movimento num plano inclinado dependia do ângulo de inclinação.

também tão liso e polido quanto possível, fizemos rolar ao longo dele uma bola de bronze, dura, lisa e bem redonda. Colocando este bloco em posição inclinada, levantando uma das extremidades 50 centímetros ou um metro mais ou menos acima da outra, fizemos rolar a bola, como eu estava dizendo, ao longo do canal, anotando, da maneira a ser descrita daqui a pouco, o tempo necessário para realizar a descida. Repetimos esta experiência mais de uma vez a fim de medir o tempo com tal exatidão que o desvio entre duas observações nunca excedesse um décimo de uma pulsação. Tendo realizado esta operação e nos assegurado da confiança que podia merecer, fizemos então rolar a bola somente num quarto do comprimento do canal; e tendo medido o tempo de sua descida, achamos que ele era precisamente a metade do primeiro. Experimentamos, a seguir, novas distâncias, comparando o tempo para o comprimento total com o da metade, ou com o de dois terços, ou de três quartos, ou em verdade com o de qualquer fração; em tais experiências, repetidas uma boa centena de vezes sempre achamos que os espaços percorridos estavam uns para os outros como os quadrados dos tempos decorridos, e isto era verdade para todas as inclinações do plano, isto é, do canal, ao longo do qual fazíamos rolar a bola. Também observamos que os tempos da descida, para várias inclinações do plano, mantinham uns para com os outros precisamente a relação que, como veremos mais tarde, o autor tinha predito e demonstrado. Para a medida do tempo empregamos um grande vaso d'água, colocado em posição elevada; no fundo do vaso foi soldado um tubo de pequeno diâmetro, dando um pequeno jato que recolhíamos num copo durante o tempo de cada descida, tanto para toda a extensão do canal, como para uma parte; a água assim recolhida era pesada após cada descida, numa balança muito sensível; as diferenças e razões desses pesos deram-nos as diferenças e razões dos tempos, e isto com tal precisão que, embora a operação fosse repetida muitas e muitas vezes, não havia discrepância apreciável nos resultados".

Segundo Cohen, torna-se claro, do que foi exposto, que o objetivo das observações e experiências, tais como a do plano inclinado, não era a formulação de uma lei, mas simplesmente certificar-se que de fato tais acelerações, como as discutiu Galileu, podem realmente ocorrer na Natureza. Além disso, o que está demonstrado nessa série de experiências não é que a velocidade é proporcional ao tempo, mas somente que a distância é proporcional ao quadrado do tempo.

Resumo de alguns resultados encontrados por Galileu

- Contrariamente à crença popular, um objeto pesado e um objeto leve não caem de um lugar alto com velocidades proporcionais aos pesos, mas com velocidades quase idênticas;
- Se um corpo cai no ar (ou em outro meio que ofereça resistência), a resistência aumentará em função da velocidade. Quando a resistência iguala o peso do corpo, a aceleração cessa e o corpo continuará a cair com velocidade uniforme;
- Em determinadas circunstâncias (por exemplo, num plano horizontal perfeitamente liso) o corpo continuará o movimento que lhe foi comunicado;
- Na aceleração natural, ou no movimento uniformemente acelerado, a velocidade aumenta na mesma proporção que os inteiros, 1, 2, 3, ... (escrevemos esta lei algébrica na forma $V \propto T$ ou $V = AT$ para um móvel que parte do repouso). Segue-se que a distância aumenta com o quadrado do tempo ou $D \propto T^2$ (realmente $D = AT^2$). Galileu mostrou experimentalmente que a relação $D \propto T^2$ é válida para o movimento de uma bola que rola no plano inclinado.
 - a) Em tal movimento, as distâncias percorridas em sucessivos intervalos de tempo iguais estão entre si como os números ímpares consecutivos 1, 3, 5, 7, ..., porque as distâncias totais percorridas são como os quadrados (1, 4, 9, 16, ...) e $4 - 1 = 3$, $9 - 4 = 5$, $16 - 9 = 7$, ...;
- Queda livre e movimento descendente no plano inclinado são exemplos de movimento uniformemente acelerado. Daí que as leis de queda livre sejam

$$V \propto T \quad \text{e} \quad D \propto T^2$$

- a) A queda no ar não é um exemplo de movimento uniformemente acelerado puro, devido à resistência do ar; é por isso que, quando dois corpos de peso diferente são deixados cair de uma torre, o mais pesado atingirá o solo um pouco antes do mais leve;

- No movimento ao longo do plano inclinado, a velocidade final será a mesma para todos os ângulos de inclinação desde que o ponto de partida esteja à mesma altura acima do plano horizontal.
- Ele acreditava que a demonstração que havia dado para a bola que rola por um plano inclinado devia ser verdadeira para uma bola em queda livre. De acordo com sua suposição, rolar por um plano inclinado equivale a cair verticalmente da mesma altura para efeito de velocidade máxima alcançada ao nível do chão. O único efeito do plano inclinado era o de retardar o movimento, tornando possível que medidas pudessem ser feitas.

MOMENTO DE EXECUÇÃO

As experiências de queda dos graves, juntamente com aquelas no plano inclinado, foram desacreditadas por muitos dos estudiosos contemporâneos a Galileu. O padre Mersenne tentou realizar essas experiências, verificou que nunca podia obter o mesmo resultado encontrado pelo físico (aqui ele fazia referência a uma experiência específica). Mais recentemente, o historiador Alexander Koyré publicou um livro cujo título é “*Estudos Galilaicos*” e classificou Galileu como um pensador platônico e que as experiências em seu trabalho tem um papel secundário. Em outros momentos, afirma que o grande físico, aclamado por elaborar um novo método de investigação na ciência, na verdade nunca fez os experimentos descritos em sua obra, que não passavam de experimentos mentais. No entanto, outros defendem que Galileu levou a cabo estes experimentos, apesar de todas as dificuldades técnicas da época.

Cientes deste cenário, a seguir iremos tentar reproduzir alguns resultados “encontrados” por Galileu.

- Os materiais estão disponíveis no laboratório de Física: um plano inclinado, um recipiente feito de PVC que será usado para contabilizar o tempo, duas bolas de bilhar de diferentes pesos, vela, uma balança, trena, cronômetro.
- Alguns softwares serão disponibilizados, caso seja necessário, para medir tempo, frequências de sons emitidos etc., além de computador.
- Livros para consulta, caso seja necessário.

Como proceder?

O diálogo entre os personagens do livro “*Discursos*” será o guia da prática, além de alguns resultados que os alunos desejarem verificar. A descrição do plano inclinado, anteriormente apresentada, já propõe o que deve ser medido.

Como registrar?

Faça anotações, áudios das discussões, tabelas, gráficos etc. Se possível elabore um texto descrevendo quais foram os passos seguidos e as conclusões.

Questionamentos

1. Você consegue identificar o que motivou Galileu a propor o experimento do Plano Inclinado? Escreva aqui essa motivação.
2. Em algum momento o movimento no plano inclinado se assemelha ao movimento de queda vertical? Cite semelhanças e diferenças, caso você consiga identificar.
3. O método que Galileu usou para medir o tempo das quedas era confiável?
4. Galileu não foi capaz medir a velocidade que a bola atingia ao chegar à base do plano, mas ele admitia ser essa velocidade proporcional ao tempo gasto na descida. Por que não era possível a Galileu descobrir essa velocidade?
5. O movimento no plano inclinado era uniformemente acelerado ou aproximadamente uniformemente acelerado? Justifique.
6. A causa da aceleração no plano estudado é a inclinação, podemos pensar assim. Imagine um plano horizontal, sem motivos para acelerar ou desacelerar, o que aconteceria a uma bola inicialmente impulsionada neste plano, caso não tivesse atrito?
7. E se o plano do item anterior fosse ilimitado (infinitamente grande), o que aconteceria com a bola?
8. Após finalizar a prática, você concorda que Galileu fez a experiência do plano inclinado?



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

PROPOSTA DIDÁTICA – PASSO 4

AUTOR: José Francisco Martins de Sousa

DISCIPLINA: Física – Módulo I

TEMA: O papel dos experimentos históricos na reaproximação entre História da Ciência e o Ensino de Ciências.

SUBTEMA: O plano inclinado na construção de uma cinemática galileana

OBJETIVO: Resgatar experimentos históricos e sua real importância na compreensão da Física como construção do homem, como cultura, e gerar novos momentos de discussão e aprendizagem.

Esta ação consiste numa intervenção mediadora, de cunho pedagógico, objetivando:

- 1. Organizar as ideias dos alunos após os passos anteriores da proposta*
- 2. Fazer correções nas falas dos alunos, efetivar a apropriação dos conceitos, se necessário uma troca conceitual*
- 3. Evitar os equívocos na forma como os alunos veem o “fazer Ciência” ou a respeito da própria natureza da Ciência*
- 4. Focar nos pontos que os alunos mais se afastam das respostas, ditas científicas, corrigindo aquilo que de fato deve ser corrigido*

Este material é unicamente para o professor que pode fazer a intervenção da sua maneira, mas aqui encontram-se algumas sugestões.

Momento de Aprendizagem – Passo 4 – 03 aulas

INTERVENÇÃO MEDIADORA

Este momento, ou ação, mas se parece com um momento pós-reflexão da prática ou organização final das ideias, dos conhecimentos. Isto já estava previsto na metodologia. O passo se justifica, pois:

- As falas de muitos alunos, transcritas integralmente, ainda apresentaram-se de forma desfocadas, desarticuladas ou às vezes confusa, por isso se fez necessário esta ação posterior, com a intervenção direta do professor;
- A ação está devidamente amparada pela teoria sócio-interacionista de Vygotsky na qual o *mediador* tem uma função relevante e os conceitos cientificamente aceitos são negociados nas interações sociais, que neste caso se faz na sala de aula, entre alunos e professor.
- Após essa ação faz-se necessário uma avaliação, para verificar a eficácia desta intervenção.

Em síntese, tem-se:



Isto pode ser feito em forma de aula convencional, utilizando os diferentes recursos. Na pesquisa utilizou-se da projeção em slides mesmo, com os pontos selecionados, de forma criteriosa, dos textos anteriores, e outros como meio de ampliar o leque de conhecimento e informações interligadas dos estudantes. O mediador deve está sempre fazendo um *feedback* e, por último, aplicar o questionário com questões problematizadoras como as encontradas nos outros passos da proposta.

O QUE DISCUTIR NA SALA

Analisando as perguntas e repostas, transcrevemos abaixo como forma de guia o que pode ser, posteriormente, discutido em sala de aula, com o único objetivo de garantir e efetivar a aprendizagem dos alunos.

- Reelaborar a definição de movimento: deixar claro que os antigos filósofos discordavam entre si a respeito da definição de movimento, do *ser* e o *não ser* e que Aristóteles, por exemplo, entendia o movimento como transformação, evolução, transição, crescimento etc., sempre associado a uma causa; falar de *movimento natural* e *movimento violento*.
- Mostrar a originalidade de Galileu e a influência que sofreu de seus predecessores.
- A Navalha de Ockham: esclarecer como Galileu chegou às suas conclusões, e como acreditava que elas estavam corretas, a partir deste princípio.
- Comentar sobre o Princípio de Relatividade e o Heliocentrismo, deixando claro que é possível adotar a Terra ou o Sol como centro do Universo e como isso foi importante na obra de Galileu.
- Falar da importância do Teorema da Velocidade Média, tanto para a geometrização da Física como para estudos posteriores feitos por Galileu.
- Demonstrar uma visão mais realística de Aristóteles, como: que sua teoria era, em muitos pontos, coesa e consistente; deixar transparente que mesmo antes de Galileu as ideias de Aristóteles já eram severamente criticadas; para o pensador grego a experimentação fez parte de sua obra, como na Biologia.
- Discutir a relação *Cosmo X Telescópio*: focar nas descobertas feitas com o telescópio que enfraqueceram o antigo cosmo grego; fazer entender que não foi Galileu o primeiro a observar os céus com esse instrumento, mas o primeiro a olhar os astros com uma visão investigadora e independente.
- Intensificar a discussão sobre as diferentes facetas de Galileu: platônico, experimental ou manipulador de ideias? mostra a possibilidade tanto de ele não ter feito as muitas experiências como dele ter executado-as; falar

da precariedade dos aparatos e das dificuldades pertinentes ao estudo do movimento.

- Explicar, em detalhes, o movimento de subida e descida num lançamento vertical, o movimento de projéteis, ao ser lançados obliquamente etc., usando a teoria de Aristóteles, assim como a noção de *impetus*.
- Esclarecer quanto à queda dos corpos com pesos diferentes, buscando um *link* entre a teoria de Aristóteles do movimento e as ideias de Galileu, que culminaram para um nova forma de descrever a queda dos graves.
- Dá dicas de como entender a posição da Terra no Universo (Ela está no centro ou não?) com base na ideia de *lugar natural*.
- Negociar uma melhor compreensão quanto ao movimento no plano inclinado: os resultados encontrados; o método de medir o tempo; a analogia com a queda livre no caso limite (o plano na vertical)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

PROPOSTA DIDÁTICA – PASSO 5

AUTOR: José Francisco Martins de Sousa

DISCIPLINA: Física – Módulo I

TEMA: O papel dos experimentos históricos na reaproximação entre História da Ciência e o Ensino de Ciências.

SUBTEMA: O plano inclinado na construção de uma cinemática galileana

OBJETIVO: Resgatar experimentos históricos e sua real importância na compreensão da Física como construção do homem, como cultura, e gerar novos momentos de discussão e aprendizagem.

Esta ação consiste numa intervenção avaliativa, de cunho pedagógico, objetivando:

- 1. Efetivar a assimilação dos conceitos após os passos anteriores da proposta*
- 2. Verificar a aprendizagem dos conceitos e definições da cinemática galileana e sua evolução histórica*
- 3. Permitir uma avaliação do avanço atingido após as atividades em sala de aula, principalmente referente à forma de vê a Ciência*
- 4. Resolver as questões após uma breve contextualização*

Aluno: _____

Momento de Aprendizagem – Passo 5 – 02 aulas**INTERVENÇÃO AVALIATIVA Data: 16/08/2016**

Questão 1

Agora, faremos uma rápida avaliação de seus conhecimentos de Física. Você, provavelmente, deve estar preocupado em recordar tudo o que aprendeu durante a preparação para o vestibular. Mas não fique nervoso. Vamos começar a analisar seus conhecimentos de movimento e repouso. Olhe seus companheiros, já sentados em seus lugares, preste atenção em você e reflita sobre as noções de movimento, repouso e referencial. Agora, julgue as afirmativas a seguir.

01) Você está em repouso em relação a seus colegas, mas todos estão em movimento em relação à Terra.

02) Em relação ao referencial "Sol", todos nesta sala estão em movimento.

04) Mesmo para o fiscal, que não pára de andar, seria possível achar um referencial em relação ao qual ele estivesse em repouso.

08) Se dois mosquitos entrarem na sala e não pararem de amolar, podemos afirmar que certamente estarão em movimento em relação a qualquer referencial.

16) Se alguém lá fora correr atrás de um cachorro, de modo que ambos descrevam uma mesma reta, com velocidades de mesma intensidade, então a pessoa estará em repouso em relação ao cachorro e vice-versa.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

Questão 2

(F.M. Santos-SP) Considere um ponto na superfície da Terra. Podemos afirmar:

- a) o ponto descreve uma trajetória circular.
- b) o ponto está em repouso.
- c) o ponto descreve uma trajetória elíptica.
- d) o ponto descreve uma trajetória parabólica.
- e) a trajetória descrita depende do referencial adotado.

Texto Auxiliar Contextualizado 1 (TAC1)

O Princípio de Relatividade

Nicolau de Cusa (1401-1464), cardeal alemão, preferiu o neoplatonismo ao aristotelismo. Para ele, a Terra estava em movimento e não podia ocupar o centro do Universo. Já naquela época, ele afirmava que *lugar e movimento* não eram absolutos, pois dependiam de um observador, ou seja, eram relativos (o movimento absoluto representa o deslocamento de um corpo no espaço, enquanto o relativo representa um deslocamento de um corpo em relação a outro – é infrutífero perguntar se a Terra ou o Sol está em movimento absoluto)

Proposta Didática – Passo 1

Questão 3

(PUC-SP) Uma pessoa encontra-se em lugar fixo de um caminhão animado de movimento retilíneo e cujo valor da velocidade é constante. A pessoa lança uma pedra verticalmente para cima. Desprezando-se a resistência do ar, pode-se afirmar que:

- a) a pedra atingirá o solo na vertical do ponto de que foi lançada;
- b) a pedra retornará à pessoa que a lançou;

- c) a trajetória será uma reta vertical em relação à Terra;
 d) a trajetória será uma parábola em relação ao caminhão;
 e) a pedra atingirá o solo na frente do caminhão.

Questão 4

(Mackenzie-SP) Na fotografia estroboscópica de um movimento retilíneo uniforme, descrito por uma partícula, foram destacadas três posições, nos instantes t_1 , t_2 e t_3 .



Se t_1 é 8 s e t_3 é 28 s, então t_2 é:

- a) 4 s b) 10 s c) 12 s d) 20 s e) 24 s

Texto Auxiliar Contextualizado 2 (TAC2)

Na obra “Duas Novas Ciências” Galileu Galilei define o movimento constante ou uniforme e descreve algumas propriedades deste movimento por meio de axiomas, corolários e teoremas. Abaixo um teorema retirado da quarta jornada, quando Savialti está lendo a obra de Galileu.

TEOREMA I – PROPOSIÇÃO I

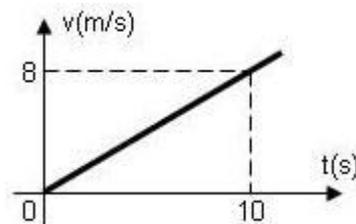
Se um móvel em movimento uniforme percorre dois espaços com a mesma velocidade, os tempos dos movimentos estão entre si como os espaços percorridos

Numa espécie de álgebra podemos reescrever o teorema da seguinte forma

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

Questão 5

(UFSE) O gráfico ilustra a velocidade de uma partícula que se move em linha reta. No intervalo de 0 a 5 s, a partícula percorreu, em metros:



a) 80

b) 40

c) 20

d) 10

e) 8

Texto Auxiliar Contextualizado 3 (TAC3)

O Teorema da Velocidade Média (TVM)

Galileu em sua obra demonstra este teorema da mesma maneira que os *mertonianos* o demonstraram. Tal teorema pode ser enunciado da seguinte maneira:

(...) É, portanto, evidente que os espaços iguais serão percorridos em tempos iguais por dois corpos, dos quais um, partindo do repouso, se move com movimento uniformemente acelerado, enquanto o outro, que se move com velocidade uniforme, se desloca com um movimento que é igual à metade do momento máximo de velocidade atingido pelo primeiro; que é o que se queria demonstrar.

Retirado do livro “Duas Novas Ciências”

Questão 6

(UFPR) Num experimento físico, um pequeno corpo é solto no vácuo de uma certa altura, com velocidade inicial nula. Entre as características e grandezas

físicas abaixo, quais as necessárias para se determinar o tempo de queda do corpo?

- 01) Altura de queda.
- 02) Volume do corpo.
- 04) Forma geométrica do corpo.
- 08) Massa do corpo.
- 16) Aceleração gravitacional local.

Questão 7

(Unicenp-PR) Durante suas férias, um professor de Física observou, em sua chácara, duas maçãs caindo de uma mesma altura de uma árvore. Ao medir as massas das duas frutas, obteve valores diferentes e passou a redigir um relatório sobre o acontecimento. Desconsiderando a resistência do ar, o relatório do professor poderia conter a seguinte informação:

- a) A maçã de maior massa chegou antes que a outra ao solo.
- b) A maçã de menor massa chegou antes que a outra ao solo.
- c) A maçã de maior massa fica sujeita a uma maior aceleração.
- d) Ambas as maçãs chegam juntas ao solo.
- e) O tempo de queda das maçãs independe do valor da aceleração gravitacional.

Questão 8

(UFAM) A razão entre as distâncias percorridas por dois corpos em queda livre, a partir do repouso, sabendo-se que a duração da queda do primeiro é o dobro da duração do segundo, é:

- a) 4 b) 2 c) 8 d) 5

Questão 9

(AEU-DF) O movimento de um corpo em queda livre após ter sido abandonado de uma determinada altura é:

- a) retilíneo uniforme.
b) uniformemente acelerado.
c) circular uniforme.
d) circularmente variado.

Questão 10

(UFMT) Galileu, na torre de Pisa, fez cair vários corpos pequenos, com o objetivo de estudar as leis do movimento dos corpos em queda. A respeito dessa experiência, julgue os itens, desprezando-se os efeitos do ar.

- I. A aceleração do movimento era a mesma para todos os corpos.
II. Se dois corpos eram soltos juntos, o mais pesado chegava ao solo horizontal no mesmo instante que o mais leve.
III. Se dois corpos eram soltos juntos, o mais pesado chegava ao solo horizontal com velocidade escalar maior que a do mais leve.

Texto Auxiliar Contextualizado 4 (TAC4)

O estudo da queda dos corpos transcende o tempo e remonta aos tempos gregos, onde os filósofos tentavam estabelecer argumentos lógicos que descrevessem este tipo de movimento. O mais conhecido, dentre estes, foi Aristóteles, que criou uma teoria de movimento com base na experimentação imediata, por meio dos sentidos. Abaixo uma lista retirada da Sequência Passo 2, contendo respostas para o movimento de queda dos graves.

- **Aristóteles:** a bola mais pesada chegaria não só num tempo mais curto como também com uma velocidade dez vezes maior.
- **Joannes Philoponus (João, o Gramático):** Philoponus, um erudito bizantino, no século VI, andava estudando esta questão (não exatamente da mesma forma como aqui elaborada). Ele afirmava que as experiências contradiz as opiniões aceitas a respeito. Para ele uma “observação real” era muito mais convincente que qualquer argumento verbal e filosófico.

"Porque, se você deixar cair da mesma altura dois corpos, um dos quais é muitas vezes mais pesado que o outro, verá que a razão dos tempos gastos no movimento não depende da razão dos pesos, mas que a diferença em tempo é muito pequena. E, assim, se a diferença em pesos não é considerável, a saber, se um é, digamos, o dobro do outro, não haverá diferença, ou então uma diferença imperceptível em tempos, embora a diferença em peso não seja de modo algum desprezível, com um corpo pesando duas vezes mais que o outro."

- **Um milênio após Philoponus, o engenheiro, físico e matemático Simon Stevin realizou a experiência:** Stevin estava mais preocupado em provar o erro de Aristóteles. Ele descreveu sua experiência da seguinte forma:

"A experiência que contradiz Aristóteles é a seguinte: Tomemos (como o ilustre Sr. Jan Cornets de Groot, grande investigador dos segredos da Natureza e eu próprio fizemos) duas esferas de chumbo, uma dez vezes maior e mais pesada que a outra e deixemo-las cair juntas, de uma altura de 10 metros numa tábua ou em alguma coisa sobre a qual elas produzam um som perceptível. Verificar-se-á então que a mais leve não levará dez vezes mais tempo no seu caminho do que a mais pesada, mas que elas caem praticamente juntas sobre a tábua, a ponto de seus dois sons parecerem uma única pancada seca "

Bibliografia para o professor

COHEN, I.B. **O nascimento de uma nova Física**. Lisboa: Gradiva, 1988.

SCHENBERG, Mário. **Pensando a Física**. São Paulo: Landy Editora, 2001.

GALILEI, G. **Discursos sobre Duas Novas Ciências**. São Paulo: Nova Stella, 1986.

PIRES, Antonio T. S. **Evolução das Ideias da Física**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

RIVAL, M. **Os grandes experimentos**. Rio de Janeiro: Editora Jorge Zahar, 1997.

ROCHA, J. F. (Org.). **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2011.

TAKIMOTO, E. **História da Física na Sala de Aula**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.

THUILLIER, P. **De Arquimedes a Einstein: a face oculta da invenção científica**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1994.