

A Evolução do Pensamento sobre o Conceito de Movimento*

(The Evolution of Human Thought About the Concept of Motion)

José Plínio Baptista e Laércio Ferracioli

Departamento de Física, Universidade Federal do Espírito Santo

Campus de Goiabeiras, 29060-900, Vitória, ES

plinio@cce.ufes.br, laercio@cce.ufes.br

Recebido em 12 de Agosto, 1998

Este trabalho apresenta uma descrição histórica da evolução do pensamento científico sobre o conceito de movimento, através do exame de algumas teorias propostas na antigüidade. Assim, partindo das idéias de filósofos pré-socráticos, chega-se ao advento do conceito de Impetus, passando por uma análise da descrição do movimento elaborada por Aristóteles.

This work presents a historic description of the evolution of the scientific thought about the concept of motion based on the analysis of a few theories proposed in ancient Greece. Starting from the pre-socratics thinkers the description reaches the arrival of the concept of Impetus through an analysis of the Aristotle's description of motion.

I Introdução

O movimento, enquanto estado da matéria, tem provocado profundas reflexões dos pensadores ao longo de toda a história filosófico-científica da civilização ocidental. O estudo do movimento, gerador das concepções modernas apresentadas na elaborada e sofisticada Mecânica Racional ou Analítica, iniciado por Newton no século XVII, foi primeiramente realizado por Aristóteles no século IV a.C. De Aristóteles a Newton a evolução deste conceito passou pela marcante *Teoria do Impetus* desenvolvida na Idade Média pré-galileana.

Atualmente a idéia e o estudo do movimento se encontram depuradas dos fatores que então obscureciam e dificultavam a identificação dos elementos básicos do fenômeno. Importantes contribuições de pensadores como d'Alembert (1717-1783), Lagrange (1736-1819) e Hamilton (1805-1865), a partir do final do século XVIII culminaram com o magistral edifício teórico da mecânica. A Mecânica Analítica ensina, na simplicidade moderna, que a descrição do movimento consiste em resolver o seguinte problema:

dadas a posição e a velocidade de uma partícula móvel no instante t_0 denominadas de condições

iniciais (x_0, v_0, t_0) , encontrar a posição e a velocidade deste móvel num instante posterior qualquer (x, v, t) .

A Mecânica Analítica fornece, a partir de princípios gerais, um conjunto de equações diferenciais de segunda ordem, que permite resolver o problema proposto. Um teorema de existência e unicidade da teoria das equações diferenciais afirma que a solução $x(t), v(t)$ é única, desde que satisfaça as condições iniciais.

A idéia geral do movimento, na concepção universal, já tinha se estabelecido, desde o início do pensamento científico ocidental, em várias correntes de pensamento, sendo possível delinear semelhanças e conflitos além de suas características próprias. No entanto, foi longo o caminho percorrido na construção do conceito de movimento até a moderna e sofisticada forma de descrevê-lo. Assim, este texto apresenta uma visão da evolução do conceito de movimento abrangendo desde as idéias de filósofos pré-socráticos ao redor do século VI a.C. até a Teoria do Impetus característica do século XIV, passando pela marcante contribuição de Aristóteles no século IV a.C.

* Trabalho financiado com recursos da CAPES

Dessa forma, o texto é apresentado a partir da caracterização de três fases históricas que são descritas por:

- **Primeira fase:** característica do período entre os séculos VII e IV a.C., onde o movimento aparece como atributo dos modelos cosmogônicos propostos;
- **Segunda fase:** característica dos séculos posteriores ao século IV a.C., onde, através de sua definição restritiva e local, o movimento se torna objeto de incansável análise por parte dos pensadores, sendo Aristóteles o seu precursor;
- **Terceira fase:** que corresponde ao período que tem como marco inicial o advento do conceito de Impetus, quando então o conceito de movimento começa a assumir sua forma atual.

II Os Físicos

As primeiras idéias envolvendo a matéria dinâmica primordial preenchendo todo o cosmos, denominada de *Princípio*, partiram dos filósofos jônicos entre os séculos VII e IV a.C., que posteriormente, Aristóteles (c.384-322 a.C.) passou a denominá-los de 'Físicos'. Com exceção do filósofo eleata Parmênides (c.540-450 a.C.), as concepções cosmológicas desses filósofos pré-socráticos apresentam semelhanças gerais, principalmente no tocante ao papel desempenhado pelo *movimento*. Para estes 'físicos' o movimento é apresentado como um estado permanente da matéria e fundamentalmente importante para o entendimento dos processos de formação que se desenvolvem na natureza.

Assim, as principais características e idéias relacionadas ao conceito de movimento dessas propostas são a seguir apresentadas, sendo porém, imperioso, tecer inicialmente comentários sobre o filósofo Platão (c.429-357 a.C.), pela importância de sua idéias que marcaram a transição do período arcaico da Grécia clássica para a época pós-socrática propriamente dita.

II.1 Platão

Platão é o criador da teoria das idéias ou das formas, verdades acessíveis somente através da inteligência. Ele elabora seu sistema aproveitando parte das idéias de sistemas filosóficos anteriores, principalmente de Parmênides, Heráclito, Demócrito e Pitágoras.

Apesar de Platão revelar maior propensão às questões de Ética e Moral, ele elabora e propõe uma

cosmogonia original que apresenta integralmente no seu Diálogo intitulado 'Timeu'. A obra de Platão [1] é vasta e complexa e sua cosmogonia tem por base os quatro elementos - terra, ar, água e fogo - os quais, por sua vez, são formados pela associação de formas geométricas: os sólidos regulares descobertos pelos pitagóricos. A terra seria formada por um aglomerado de formas cúbicas, o fogo por tetraedros, a água por icosaedros e o ar por octaedros. Estas formas são as correspondentes platônicas dos átomos de Demócrito. Assim, toda a matéria seria formada por combinações apropriadas destes elementos fundamentais na seguinte composição: de fogo para que o corpo seja visível; de terra para que seja sólido; de água e ar para serem bem proporcionados.

II.2 Heráclito de Éfeso

Para este filósofo, o movimento desempenha um papel primário e fundamental que gera a qualidade essencial da sua concepção cosmogônica. *Tudo se move*, diz Heráclito (540-480 a.C.). Por causa do movimento, nunca poderemos nos banhar duas vezes no mesmo rio.

Fundamentado no movimento geral e permanente de todas as coisas, Heráclito propõe sua filosofia natural segundo a qual o universo se encontra numa eterna e contínua transformação, ou seja, o universo é um eterno 'vir-a-ser' ou 'devir'. Em cada instante no mundo, todas as coisas estão se transformando em seus contrários num processo que culmina com o retorno de todas as coisas ao Fogo Central, de onde elas foram extraídas.

Na alegoria do rio enunciada por Heráclito é implícita a relação do filósofo com a cinemática das águas. Porém, a vocação cósmica de Heráclito levou-o a conceber algo que ultrapassou o fenômeno da mera mudança sucessiva no tempo de partículas de água. Vê-se aí uma noção mais generalizada de movimento: a contínua e total transformação de todas as coisas em seus contrários configura o que chamamos de definição genérica de movimento e que posteriormente foi sistematizada por Aristóteles em sua obra 'Física', onde a mudança de qualidade ou de composição da matéria será incluída na definição geral do movimento.

II.3 Os 'Físicos' Milésios

Thales (c.624-545 a.C.), Anaximandro (c.610-545 a.C.) e Anaxímenes (c.580-500 a.C.) são os primeiros pensadores a propor uma substância única como princípio geral de todas as coisas no universo, e que

seria geradora de toda a matéria do mundo. Para Thales esta substância seria a água, para Anaxímenes o ar e para Anaximandro uma substância infinita e indefinida chamada de Apeiron. Todavia, apesar de serem teorias distintas, os processos que dariam nascimento às coisas do universo têm um importante ponto em comum: *o movimento*. O movimento está presente como veículo fundamental e comum aos três modelos, e é o responsável pelo início da evolução cósmica pois, como afirma Anaximandro¹, os movimentos circulares, os vórtices, são os mecanismos que permitem a separação das coisas e ao mesmo tempo os conduzindo à formação do sol e das estrelas.

A descoberta de Thales sobre os fenômenos de eletrização e dos fenômenos magnéticos a partir da observação do movimento das partículas de ferro, ou de corpos leves eletrizados em direção a um ímã ou a um centro atrator elétrico, levou este filósofo a afirmar que o universo possuía *alma*. É importante salientar que esta declaração não tem nada de mística e nem deve ser interpretada literalmente, pois ela revela simplesmente a crença de que tudo o que se move é, por isso, dotado de uma alma. Posteriormente, Platão em vários de seus diálogos, como por exemplo 'As Leis', ou 'Fedro', atribui à alma a qualidade essencial de conceder movimento próprio às coisas. Como o movimento exige um motor, Platão, atribui à alma o papel de primeiro motor do universo. Em outras palavras, Platão incorporou aos princípios do seu sistema filosófico o que já era aceito entre os pensadores à época de Thales e que, posteriormente, foi aperfeiçoado por Aristóteles.

II.4 Demócrito e Anaxágoras

Para estes dois filósofos, é do movimento em vórtice, que se processa em todos os pontos do cosmos, que resulta a formação dos planetas, das estrelas e de todo o universo infinito. Durante o processo de formação *o movimento circular* separa as partículas pesadas das leves, agrupa os átomos mais pesados no centro do vórtice e os mais leves nas bordas, dando partida ao processo de condensação. Para Anaxágoras (c.500-428 a.C.), ao invés dos átomos de Demócrito², são as sementes ou homeomerias que são transportadas por movimentos turbilhonários. As sementes ou homeomerias são os

elementos fundamentais do seu princípio cosmogônico.

Demócrito (c.460-370 a.C.) introduz uma idéia revolucionária que traz conseqüências notáveis: *o conceito de vazio*. Denominado *vácuo*, o vazio permeando os átomos possibilita o *movimento* perpétuo dos mesmos, atributo da sua própria existência. Em outras palavras, o vácuo representa uma condição necessária à existência dos átomos, e curiosamente em Aristóteles, a negação deste mesmo vácuo é condição 'sine qua non' para que o movimento dos corpos possa ser compreendido. Embora Demócrito não tenha feito nenhuma restrição ao movimento dos átomos, futuros atomistas admitiram em seus escritos que os átomos cairiam no vácuo com velocidades constantes. Este aspecto da teoria destes atomistas, iniciado pelo filósofo estoíco ateniense Epicuro (c.357-271 a.C.), se constituirá num sério empecilho para que o atomismo seja integralmente aceito por Aristóteles como veremos adiante.

II.5 Parmênides

Neste panorama da ciência antiga surge Parmênides (c.540-450 a.C.) com uma proposta que destoa por completo da direção geral tomada pelos pensadores que o precederam e segue contrastando com os que lhe sucederam. Assim, nas palavras de Nietzsche [2], surge Parmênides que seria: '*...igualmente como o tipo de profeta da verdade, mas como formado de gelo, não de fogo, vertendo em torno de si uma luz fria e permanente.*'. A luz fria a que se refere Nietzsche é a lógica, seca e irretorquível da proposta deste filósofo.

Em Parmênides vemos o *banimento total do movimento* no contexto do verdadeiro cosmos por ele concebido. Segundo ele, tudo o que percebemos pelos nossos sentidos não é senão a aparência e que a verdade autêntica é imutável e eterna.

A sua definição maior, da verdade do mundo, vem através da expressão: '*O Ser é, o não-Ser não é.*' Do exame das conseqüências lógicas desta frase chega-se à conclusão que o Ser é infinito e eterno, não tendo começo, nem fim e nem limites. Pois se assim não fosse, e o Ser fosse limitado no tempo e no espaço, necessariamente haveria um tempo de não-Ser, ou uma porção de espaço de não-Ser. Porém, é claro para Parmênides

¹ A interpretação desta dinâmica na obra de Anaximandro nos é legada pela doxografia de sua obra, denominação dada aos comentários de filósofos posteriores, uma vez que de sua obra original só restou apenas parcos e resumidos fragmentos. Ver Anaximandro em Os pré-Socráticos, Editora Abril, 1985.

² A teoria original do átomo é devido a Leucipo (c.540-? a.C.), de quem Demócrito foi discípulo. Todavia, a vasta obra de Demócrito, que abrange a Geometria, a Moral, a Ética, a Física, a Astronomia e até a Cosmogonia, fez dele o filósofo definitivamente associado ao atomismo, teoria que ele ampliou e deu nova roupagem.

que o não-Ser não existe. Estas propriedades do Ser implicam na negação irrefutável do movimento, seja ele mudança de qualidade, transformação ou mudança de posição.

A idéia básica desta negação é a seguinte: toda mudança, como por exemplo a mudança de posição de um corpo, implica na sucessão do Ser para o não-Ser e do não-Ser para o Ser, o que contraria o princípio básico, sendo portanto um absurdo. É claro que no movimento de um corpo ele passa do seu lugar presentemente ocupado para outro lugar não ocupado por nenhum corpo, um lugar vazio. O vazio sendo o não-Ser, necessariamente não pode existir.

A idéia do Ser infinito, indivisível e imóvel, como a realidade verdadeira do cosmos, foi intransigentemente sustentada por Melisso de Samos (c.380-? a.C.) e através dos famosos paradoxos propostos por Zenon (c.500-? a.C.), discípulo de Parmênides. A unicidade e imobilidade do Ser parmenidiano é admiravelmente defendida no paradoxo da Flexa e no paradoxo de Aquiles e a Tartaruga [3], onde, usando os princípios fundamentais da filosofia oficial da época, e não de Parmênides, ele demonstra que o movimento é um absurdo.

Aristóteles irá analisar com muito cuidado o papel do Ser como *Princípio* e sua relação com o movimento das coisas. Acabará finalmente rejeitando esta relação mostrando que o sistema parmenidiano, não se aplica à natureza, onde o movimento é uma realidade perceptível. A teoria de Parmênides chocando-se frontalmente com a concepção heraclitiana do universo, causou um enorme impasse entre os pensadores até a rejeição proposta por Aristóteles.

Uma vez apresentadas as idéias desses ‘físicos’, onde o movimento aparece como atributo de seus sistemas cosmogônicos, passamos a analisar a fase quando o movimento passa à sua definição restritiva e local a partir das idéias de Aristóteles.

III Aristóteles

É em Aristóteles que o problema do movimento é estudado com todo o rigor, sistematização e de forma precursoramente científica. Em sua obra ‘Física’ [4, 5] o filósofo, que também se auto denomina ‘físico’, inicia por uma análise minuciosa da noção de *Princípio* de uma teoria: rejeita a idéia do *Princípio Único* e adota em consequência, como Platão, a visão do *Princípio Múltiplo* (e.g. os átomos de Demócrito, os Quatro Elementos de Empédocles (c.484-? a.C.). O passo im-

portante seguinte é seu raciocínio visando a rejeição da idéia de vácuo. É interessante notar que, para convencer o leitor da inexistência do vácuo, Aristóteles não se serve da teoria do Ser de Parmênides, mas sim da existência observacional do *movimento* das coisas. Antes de tratar diretamente com o movimento na forma que nos interessa, Aristóteles dá uma definição geral e amplamente abrangente da idéia de movimento, incluindo nesta última, traços de herança direta das idéias de Platão.

Em seu diálogo ‘Timeu’ [6], Platão expõe a importância do movimento na formação do mundo. Esclarece que ‘*é impossível uma coisa movida sem o correspondente motor e o movimento só é possível no heterogêneo enquanto o repouso ocorre no homogêneo*’ [6]. Platão aqui se refere ao movimento de interpenetração dos elementos básicos terra, ar, água e fogo, no curso da formação das coisas do mundo. Finalmente um importante legado a Aristóteles: as coisas têm, cada uma, o seu lugar natural e para o qual permanentemente se dirigem.

Baseando-se nessas idéias, Aristóteles classifica os movimentos em:

- **Movimento natural:** Movimento que anima os corpos tendente a levá-los aos seus lugares naturais. O fogo e o ar movem-se naturalmente para cima, em direção à periferia do mundo. A terra e a água movem-se para baixo, em direção ao centro do universo.
- **Movimento violento ou forçado,** onde o corpo se move sob a ação contínua de um agente motor externo.

Assim, em qualquer circunstância envolvendo o movimento, é fundamental para Aristóteles, *o conceito de Motor*, o que o leva à definição do motor da grande esfera celeste, então denominada de *Primeiro Móvel*. O motor, neste caso, é associado à providência divina. A alma é o motor dos seres vivos e, de forma semelhante, os corpos em movimento deverão ser ‘empurrados’ por um motor. Veremos, a seguir, que esta questão do motor irá obrigar Aristóteles a conceber o movimento em qualquer circunstância como resultado da ação *contínua e sempre presente* do motor e que só desaparece com o repouso do corpo.

Nesse sentido, os trabalhos de Aristóteles constituem-se em uma excepcional demonstração de

análise lógica e agudeza de raciocínio e nos quais é apresentado, pela primeira vez, um estudo científico do movimento, independentemente da contestação posterior de suas idéias.

III.1 A Descrição Aristotélica do Movimento

Para estudar e analisar o movimento forçado, Aristóteles adota uma inédita sistematização de idéias que será um legado ao procedimento científico desenvolvido posteriormente³. Ele introduz a noção de sistema isolado destacando os elementos básicos para a observação do fenômeno: o corpo material, o meio no qual ele se move e o motor que promove o movimento. Isto é, ele destaca o corpo da totalidade do universo, eliminando todos os outros fatores que poderiam influir no movimento, deixando apenas o motor e o meio. Assim, dispõe Aristóteles do seu sistema físico idealizado que é minuciosa e logicamente analisado em função de definições prévias e acompanhado de confrontação com a experiência. A experiência, neste caso, resume-se simplesmente ao registro visual dos acontecimentos e não algo que decorra dos processos sofisticados de observação.

Assim, a compreensão do movimento por Aristóteles é apresentada no Livro IV da ‘Física’:

‘O motor impulsiona o corpo, superando a resistência do meio e conferindo-lhe uma velocidade de deslocamento.’ [7]

Deste postulado Aristóteles questiona a existência do vácuo e faz uma análise minuciosa de como se dá o movimento forçado.

A questão do vácuo é abordada por Aristóteles através da análise da resistência do meio como mostra excerto abaixo:

‘Seja um corpo A transportado através do meio B, durante o tempo C e através do meio D, menos denso que B, durante o tempo E. Se B é igual a D em comprimento o tempo será proporcional à resistência do meio ... e assim tanto o meio é menos denso, fracamente resistente, mais rápido é o transporte’ [7]

Considerando as condições extremas deste raciocínio, Aristóteles conclui que todo corpo se moveria no vácuo com velocidade infinita, pois percorreria distâncias finitas em tempo nulo, o que seria um absurdo. Portanto, o vácuo, na qualidade de um meio de

resistência nula, é uma impossibilidade, uma vez que o movimento é real e que as velocidades de movimentos reais são finitas.

Em relação à análise do movimento forçado, como é o caso de um projétil que se move mesmo após ter perdido contato com a mão que lhe lançou, inicialmente Aristóteles adota a explicação proposta por Platão e que afirma que esse tipo de movimento se processa:

‘como consequência da compressão do ar na frente do projétil e do empuxo aplicado à retaguarda do mesmo devido ao refluxo do ar em torno do projétil, movendo-o assim mais rapidamente que o seu movimento natural (para baixo e para o centro do mundo).’ [7]

Este é o processo denominado de *Antiperistasis* ou *Processo da Mútua Substituição*.

No entanto, Aristóteles não se satisfaz com esta descrição, pois a *Antiperistasis* implica que o movimento deveria ser iniciado simultaneamente pelos elementos da série motor(ar)-movido(corpo)-movido(ar), pois:

‘o corpo substitui o ar que ele comprime em seu movimento e que reflui para a retaguarda e [o corpo] toma o lugar da porção de ar que desloca-se para o lugar que o corpo ocupava.’ [7]

Neste caso, raciocina Aristóteles, a cessação do movimento ocorreria simultaneamente para os três elementos da série, o que não parece muito claro. Em consequência disso ele propõe uma outra teoria para explicar o processo que se desenvolve na dinâmica do movimento. A nova descrição é:

‘o ar, que está em contato permanente com o corpo, recebendo o impulso do agente motor, se põe em movimento e recebe também e ao mesmo tempo um poder motor e com isso coloca em movimento o corpo superando a resistência da camada de ar que está na dianteira do corpo.’ [7]

Este processo é continuado até que o poder motor da camada de ar em contato com o corpo diminua e não seja mais capaz de vencer a resistência do ar. O movimento então cessa.

A idéia da presença constante do motor em contato com o móvel é seguidamente reafirmada por Aristóteles que inicia o Livro VII, da obra ‘Física’ com a frase:

‘tudo que se move deve ser movido por alguma coisa’ [8]

³É importante ressaltar que as idéias de Aristóteles serão consideradas ‘verdades’ por aproximadamente 20 séculos. Embora absolutamente refutadas as idéias, é o *modus operandis* que influenciará todo o procedimentos científico.

a qual dá sustentação à teoria alternativa por ele formulada. Em seguida a lei da dinâmica aristotélica é claramente enunciada:

'A velocidade de um móvel que se desloca num meio, é diretamente proporcional à força aplicada ao corpo e inversamente proporcional à resistência da meio.' [8]

A representação matemática desta lei do movimento só foi elaborada no século XIV a partir dos trabalhos de T. Bradweiser (c.1328). A sua expressão, usando os recursos modernos é:

$$V \propto F/r$$

Assim, pode-se observar que independente de suas conclusões, Aristóteles encaminhou adequadamente a questão da descrição do movimento definindo um sistema físico idealizado que lhe permitiu analisar todos os aspectos do problema. Sabemos hoje em dia que as grandezas envolvidas no processo do movimento não se restringem unicamente à velocidade, à força e à resistência do meio. No entanto, para atingir este entendimento, o conceito de movimento evolui lentamente até atingir o advento do conceito de Impetus, quando o estudo do movimento começa a assumir sua forma atual.

IV A teoria do Impetus

IV.1 Introdução

O estudo e as críticas sobre a teoria aristotélica do movimento se estenderam desde os cientistas alexandrinos no início do primeiro milênio até a alta idade média. Pelo menos no que concerne à ciência física e em particular sobre o estudo do movimento, a grande profusão de trabalhos publicados revela uma época cientificamente rica e fecunda, contrariando a tradicional idéia de que a idade média teria sido uma época de trevas e obscurantismo em todas as áreas do conhecimento. Como exemplo, pode-se citar o filósofo neo-platônico John Philponos (c.475-565) que, através de argumentos irretorquíveis, rejeita a teoria aristotélica que preconizava o papel motor do meio no movimento dos corpos. Em outras palavras Philponos abandona a teoria da Antiperistásis assim como a teoria aristotélica do movimento acima mencionadas. Assim, segundo este filósofo, o meio desempenharia somente um papel resistivo, e a velocidade neste caso seria proporcional ao saldo entre a força motriz aplicada e a força resistiva

do meio [11]. A representação dessa idéia em linguagem atual seria:

$$V \propto (F - R)$$

Dessa forma, pode-se observar imediatamente que, ao contrário de Aristóteles, o vácuo não introduz nenhuma contradição na descrição formal do movimento na concepção de Philoponos, uma vez que na condição limite da força resistiva ir a zero, a velocidade do corpo seria proporcional à força motriz aplicada.

Após o declínio de Alexandria, centro gerador de um considerável acervo científico, o veículo da transmissão desta ciência em direção ao ocidente foi admiravelmente executado pelos árabes, que traduziram quase toda a obra dos filósofos e físicos gregos e que, ao mesmo tempo, contribuíram com idéias e comentários de parte de inúmeros pensadores cujos expoentes foram Ibn Sina (980-1037) e Ibn Rusch (1126-1198), conhecidos no ocidente como Avicena e Averrois respectivamente.

Os trabalhos mais importantes e que mudaram a feição do problema, delineando os traços modernos, foram realizados em torno dos séculos XIII e XIV, onde se destacaram Roger Bacon (c.1214-1292), Tomas d'Aquino (1225-1274), Guilherme de Ockham (1285-1349), Thomas Bradwardine (1290-1349), Jean Buridan (1297-1358) e Nicole d'Oresme (1320-1382). Além de importantes contribuições específicas ao estudo do movimento, estes pensadores são os precursores do paradigma do método científico: é a revolução conceitual [9] do 'porque' para o 'como'.

Foge ao escopo deste trabalho a abordagem de toda a gama de contribuições geradas nesse período e concentradas sobre o estudo do movimento, como é feito nas extensas obras de história da ciência [10, 11]. Este texto limita-se às ponderações daqueles que, na opinião dos especialistas, foram os que apresentaram as mais importantes contribuições a este problema: Jean Buridan, que ocupava, à época, o cargo de reitor da Universidade de Paris e seu continuador Nicole d'Oresme.

IV.2 Jean Buridan

Buridan apresenta pesadas e sérias críticas à Teoria da Antiperistásis ou da Mútua Substituição de Platão-Aristóteles, através da proposição de algumas questões teórico-práticas, tais como:

- Uma roda persiste no seu movimento de rotação mesmo após ter cessada a ação motora externa.

Como poderia se processar a antiperistasis neste caso?

- Considere-se dois corpos em forma de dois bastões de madeira, sendo que um deles tem suas extremidades aguçadas em forma de ponta. Se os dois forem lançados pelo mesmo motor e numa direção paralela aos seus eixos, o bastão pontiagudo deveria mover-se nitidamente mais lento que o outro, o que, como observa-se, não sucede. Como explicar a ineficácia da antiperistasis no caso?

Já em relação à segunda teoria formulada por Aristóteles, Buridan, sob certos aspectos, lhe deu continuidade formulando o conceito de Impetus. Assim, para ele:

‘o impetus impresso pelo projetor sobre o projétil varia, por um lado, com a velocidade do projétil e, por outro, com a quantidade de matéria do corpo em movimento’. [12]

De acordo com Clagget [12], a definição de Buridan se revela precisa e de natureza ‘quasi-quantitativa’. É uma descrição prenunciadora de uma descrição moderna do fenômeno, que pode ser observada no excerto abaixo:

‘o impetus é uma qualidade permanente do corpo, embora possa ser destruída por agentes contrários, e é tal que ele não é auto desvanecente meramente como resultado da separação do corpo e da força motora principal, mas pode ser superado pela resistência do ar ou pela tendência contrária do corpo’. [12]

O sucesso da Teoria do Impetus motivou Buridan a considerar plausível a idéia de que o movimento eterno e constante dos céus seria decorrente da impressão do impetus por Deus no início da criação⁴. Ora, se admitirmos que as esferas celestes giram no vácuo, a idéia de Buridan se aproximaria muito da moderna concepção de inércia.

Pode-se ir mais longe na análise da aplicação da Teoria do Impetus ao problema da aceleração de corpos em queda livre, a qual permite uma outra associação a conceitos modernos. A descrição de Buridan é a seguinte:

‘A aceleração contínua é devida à gravidade do corpo que está continuamente imprimindo mais e

mais impetus sobre o corpo. O aumento contínuo do impetus produz o crescimento contínuo da velocidade. No caso de um corpo lançado na vertical e para cima, a velocidade inicial representa um impetus impresso no corpo que, à medida que o corpo se desloca, vai diminuindo pela ação contrária da gravidade, até que o impetus total tenha sido completamente esgotado e o corpo momentaneamente se encontrará em repouso. A seguir, a ação da gravidade comunica-lhe velocidade e impetus que crescem na forma descrita acima até atingir a velocidade de partida.’ [12]

Esta descrição em muito se assemelha à descrição do movimento de um corpo sob a ação de um campo conservativo onde a soma das energias cinética e potencial é uma constante do movimento, como é amplamente discutido nos textos básicos de Física de cursos universitários.

IV.3 Nicole d’Oresme

Nicole d’Oresme retoma a teoria do impetus de Buridan, rejeitando a idéia do impetus divino para o movimento eterno e constante dos céus e a idéia do impetus permanente em um corpo, considerando-o autoconsumível. Concebe uma nova técnica para o estudo do movimento, descortinando um novo e promissor horizonte, com a introdução da representação gráfica do movimento. Não se trata exatamente da criação da geometria analítica, entretanto, querem alguns historiadores que estas idéias de Oresme estejam na origem da teoria cartesiana.

Modernamente a teoria de Oresme está representada no cálculo gráfico do espaço percorrido por um móvel animado com velocidade $v(t)$: o espaço percorrido é igual a medida da área compreendida entre a curva $v(t)$ e o eixo t das abcissas.

Os trabalhos de Oresme permitiram a um grupo de pesquisadores do Merton College, da Universidade de Oxford na Inglaterra⁵ (1290-1349) já mencionado acima [11], a elaborar um método de cálculo do espaço percorrido por um móvel com velocidade uniformemente variada. Este método ficou conhecido como a *Regra de Merton* [12], a qual pode ser enunciada em linguagem moderna na forma seguinte:

⁴Vê-se aí uma amostra das dificuldades dos pensadores dessa época, impostas pelas restrições dogmático-teológicas que nunca poderiam ser contestadas, mas sempre confirmadas, numa realidade social em que o poder da igreja, muitas vezes, era maior forte que o poder civil.

⁵Este grupo foi conhecido como os *calculadores* e tinha a participação, entre outros de William Heytesbury (c.1313-72), Richard Swineshead (fl.c.1344-54), John of Dumbleton (fl.c.1331-49) e do próprio Thomas Bradwardine

*O espaço percorrido por um corpo animado de velocidade uniformemente variada desde o tempo $t = 0$ até um instante t , é igual ao espaço percorrido no mesmo tempo por um móvel com velocidade instantânea igual à velocidade média do primeiro*⁶

Assim, segundo esta regra, o cálculo do espaço percorrido neste tipo de movimento acelerado reduz-se ao cálculo da área de um paralelogramo de base igual a t e altura igual a v (média). Coube, finalmente, a Nicole d'Oresme canonizar esta regra demonstrando-a matematicamente.

Dessa forma, sob a perspectiva científica, nesse momento histórico a questão da descrição do movimento estava a um passo para ser apreciada por Galileu Galilei (1564-1642) que direcionaria as idéias que posteriormente Isaac Newton (1642-1727) sistematizaria na formulação das Leis da Mecânica.

V Conclusão

O estudo do movimento, descrito em termos mais objetivos por Aristóteles permitiu, desde então, caracterizar o movimento de maneira clara e precisa. Em consequência, pode-se dizer que a conceituação do movimento há muito tempo assumiu a forma geral atual. Aristóteles, enquanto precursor em vários ramos do saber filosófico-científico, confirma-se como inovador no campo das Ciências, pois, através de seu estudo do problema específico do movimento, idealizando um sistema isolado, ele se antecipou de muitos séculos aos físicos teóricos e filósofos modernos no emprego de uma Gedanken Experiment, experiência de pensamento. É conhecido o extenso uso deste método, empregado pelos fundadores da Mecânica Quântica e da teoria da Relatividade Restrita.

Finalmente pode-se dizer que a formulação objetiva das questões por parte de muitos pensadores a partir de Aristóteles permite seguir os principais passos na construção do conhecimento do movimento ao longo da

evolução do pensamento científico.

Agradecimento

Este trabalho foi financiado parcialmente pela CAPES e pelo FACITEC/CMTC/PMV - Fundo de Apoio à Ciência e Tecnologia do Conselho Municipal de Ciência e Tecnologia do Município de Vitória.

Referências

1. JOWWET, B. (1989) *The Dialogues of Plato*. In HUTCHINS, R. M. (ed.) *Great Books of the Western World - Vol 7*. Chicago: Encyclopaedia Britannica Inc.
2. NIETZCHE, F. (1985) Os Pré-Socráticos. In *Os Pensadores*. São Paulo: Editora Abril.
3. CARAÇA, B. J. (1963) *Conceitos Fundamentais da Matemática*. Lisboa: Bertrand.
4. JOWWET, B. (1989) The Work of Aristotle. In HUTCHINS, R. M. (ed.) *Great Books of the Western World - Vol 1*. Chicago: Encyclopaedia Britannica Inc.
5. ARISTÓTELES (1961) *Physique*. Trad. Henri Carteron. Paris: Societé d'Édition Les Belles Lettres.
6. PLATÃO, *Dialogo 'Timeu'* (ver ref. 1).
7. ARISTÓTELES. *Física*, Livro IV, 8, 215b, (ver ref. 4 e 5).
8. ARISTÓTELES. *Física*, Livro VII, (ver ref. 4).
9. THAGARD, P. (1992) *Conceptual Revolutions*, Princenton: Princenton University Press.
10. . BOIDO, G. (1996) *Notícias del Planeta Tierra*. Buenos Aires: A-Z Editores.
11. CROMBIE, A. C. (1959) *Historia de la Ciencia de San Agustin a Galileo - Vols.1 e 2*. Madrid: Alianza Editorial.
12. CLAGETT, M. (1961); *The Science of Mechanics in the Middle Ages*. Madison: The University of Wisconsin Press.

⁶É o método empregado em todos os manuais modernos de física básica para dedução das fórmulas da cinemática dos movimentos uniformemente acelerados.