



Algumas considerações sobre os movimentos dos corpos na Antiguidade e na Idade Média: a teoria do ímpeto e a inércia

Some considerations about motion of bodies at Antiquity and at Middle Age: the impetus' theory and the inertia

Alexandre Campos^{1,*}

1. Universidade Federal de Campina Grande – Unidade Acadêmica de Física – Campina Grande (PB), Brasil.

Autor correspondente: alexandre.campos@df.ufcg.edu.br

Editores de Seção: Maria Consuelo Alves Lima e David Antonio da Costa

Recebido: 07 Nov. 2021 | **Aprovado:** 27 Jan. 2022

Como citar: CAMPOS, A. Algumas considerações sobre os movimentos dos corpos na Antiguidade e na Idade Média: a teoria do ímpeto e a inércia. *Ensino & Multidisciplinaridade*, São Luís (MA), v. 8, n. 1, e0322, 2022. <https://doi.org/10.18764/2447-5777v8n1.2022.3>

RESUMO

O artigo apresenta algumas considerações presentes nas discussões acerca da natureza do movimento entre os séculos XIV e XVII. Para isso, adotarei as perspectivas presentes nas argumentações de pensadores como Aristóteles, Buridan, Oresme e Galileu. A teoria do ímpetus, de Buridan e Oresme, pavimentou o caminho para as argumentações galileanas, na medida em que possibilitou explicar a persistência do movimento após a perda de contato entre aquilo que dava origem a ele. Ou seja, a teoria do ímpetus permitiu que se explicasse a continuidade do movimento em função de uma propriedade intrínseca do objeto (quantidade de matéria e impetuosidade do agente movente no momento do lançamento) em contraposição à necessidade de um motor em contato permanente com o movido (antiperístase aristotélica). Essa perspectiva permitiu que se unificassem numa só teoria os movimentos terrestres e os movimentos celestes. Galileu parece se valer de alguns aspectos da construção lógica dessas argumentações. O trabalho não tem a pretensão de apresentar e discutir historicamente como se deu cada um desses aspectos, detalhes locais, nem seus contextos sociais. Ao contrário, trata-se de uma quase descrição de suas ideias centrais.

Palavras-chave: Teoria do ímpetus. Inércia. Mecânica. Galileu.

ABSTRACT

The article shows some considerations present in the discussions about the nature of movement between the 14th and 17th centuries. For this, the perspectives present in the arguments of thinkers such as Aristotle, Buridan, Oresme and Galileo will be adopted. The impetus theory of Buridan and Oresme paved the way for Galilean arguments, insofar as they made it possible to explain the persistence of movement after the loss of contact between what gave rise to it. In other words, the theory of impetus made it possible to explain the continuity of movement as a function of an intrinsic property of the object (amount of matter and impetuosity of the moving agent at the moment of launch) as opposed to the need for a motor in permanent contact with the moved (Aristotelian antiperstasis). This perspective allowed the unification of terrestrial and celestial movements in a single theory. Galileo seems to make use of some aspects of the logical construction of these arguments. The work does not intend to present and discuss historically how each of these aspects took place, local details, or their social contexts. On the contrary, it is a quasi-description of its central ideas.

Keywords: Impetus Theory. Inertia. Mechanics. Galileo.

INTRODUÇÃO

A teoria do *impetus* é bastante conhecida por ser considerada responsável pelas discussões medievais acerca da manutenção do movimento dos corpos. Tal teoria fora bastante estudada pelos escolásticos da Universidade de Paris em comparação com as explicações aristotélicas para a manutenção do movimento local, estando relacionada aos nomes de Jean Buridan (?1300-1358) e Nicole Oresme (1323-1382).

Para Aristóteles (382-322 a.C.), o movimento local é explicado por sua crença em que o mundo seja constituído por cinco elementos, cada um possuindo um lugar próprio. Quatro desses elementos são próprios da região terrestre e o quinto é próprio da região celeste. Cada um dos quatro elementos terrestres possui um peso próprio na seguinte ordem, do mais pesado para o mais leve: terra, água, ar e fogo. O elemento terra, por ser o mais pesado, ocupa o centro do mundo, sendo circundado pelos elementos água, ar e, por fim, fogo, o mais leve. Acima do fogo, encontra-se o elemento éter, próprio da região celeste.

Tudo que há no mundo é composto pelos cinco elementos, de acordo com a região: o que existe na região terrestre é composto pela combinação dos quatro elementos, em maior ou em menor composição. Já o que existe na região celeste é composto por éter, puro. A partir dessas duas crenças – da existência de um mundo hierarquizado e de que as coisas sejam compostas por esses elementos –, Aristóteles elabora suas explicações para o que chama de movimento local, podendo ser espontâneo ou violento (REALE, 1994, p. 364-365).

O movimento espontâneo de uma coisa, para cima ou para baixo, surge como consequência de ela se encontrar fora de seu lugar próprio e naturalmente tender a retornar a esse lugar. Dessa maneira, e bastante superficialmente, o movimento natural de um corpo, para cima ou para baixo, surgiria como consequência, tanto por existir uma causa interna – o elemento de que tal corpo é feito –, intrínseca à coisa movida; quanto por existir uma causa externa, extrínseca – o lugar próprio daquele elemento, de acordo com as crenças aristotélicas de haver um mundo hierarquizado, à coisa movida. Assim sendo, a coisa movida teria seu movimento mantido até que chegasse ao seu lugar próprio, onde repousaria (KOYRÉ, 1986, p. 22-23).

Assim, por exemplo, uma pedra, ao ser solta, vai para baixo, por ter em sua composição preponderância do elemento terra. Portanto, move-se espontaneamente para seu lugar natural. Da mesma maneira, a chama de uma vela acesa vai para cima, por ser composta, em maior proporção, do elemento fogo. Portanto, sendo o lugar natural do fogo o alto, é para lá que a chama da vela se movimenta (KOYRÉ, 1986, p. 26).

Para o movimento dos corpos no sentido contrário ao seu lugar natural, Aristóteles utiliza o conceito de movimento violento. Nesse caso, o que manteria o movimento não seria a relação existente entre o elemento de que a coisa é feita e seu lugar natural. A causa para a manutenção desse movimento seria exclusivamente extrínseca: o ar. O movimento violento cessaria pela inclinação contrária do corpo para retornar a seu lugar natural e pela ação resistiva do ar.

AS CAUSAS DO MOVIMENTO EM ARISTÓTELES

Para Aristóteles, a ideia de natureza está intimamente relacionada ao seu conceito de movimento. Para ele, “a natureza é um princípio e causa do movimento e do repouso na coisa à qual pertence primariamente e por si mesma, não por acidente” (ARISTÓTELES, 1995, 192b). Um corpo estaria em movimento segundo sua natureza. Um corpo que não possui em si a causa do movimento o fará por acidente.

Aristóteles conceitua, assim, quatro causas para o movimento: 1) formal, 2) material, 3) eficiente e 4) final. Segundo Reale:

1) A causa formal é a forma ou essência das coisas: a alma para os animais, as relações formais determinadas para as diferentes figuras geométricas (para a circunferência, por exemplo, o lugar preciso dos pontos equidistantes de um ponto chamado centro), determinada estrutura para os diferentes objetos de arte, e assim por diante.

2) A causa material ou matéria é “aquilo que” é feita uma coisa: por exemplo, a matéria dos animais é a carne e os ossos; a matéria da esfera de bronze é o bronze, da taça de ouro é o ouro, da estátua de madeira é a madeira, da casa são os tijolos e cimento, e assim por diante.

3) A causa eficiente ou motora é aquilo de que provêm a mudança e o movimento das coisas: os pais são a causa eficiente dos filhos, a vontade é a causa eficiente das várias ações do homem, o golpe que dou nessa bola é a causa do seu movimento, e assim por diante.

4) A causa final constitui o fim ou o escopo das coisas e das ações; ela constitui aquilo em vista de que ou em função de que cada coisa é ou advém; e isso, diz Aristóteles, é o bem de cada coisa (1994, p. 341).

Para Chauí,

[a]s quatro causas permitem explicar a permanência e o movimento (ou mudança): uma coisa permanece enquanto permanecerem sua forma (sua causa formal) e sua finalidade (sua causa final); uma coisa muda ou move-se porque a matéria está sujeita à mudança (a causa material está em movimento) e quando uma causa eficiente altera a matéria, mudando a forma que ela possuía (a causa eficiente é o agente da mudança) (2006, p. 10).

Nenhum corpo recebe uma forma acabada, pronta, finalizada; pelo contrário, os corpos se movimentam na busca de atualizar suas formas gradualmente. Esse movimento ocorre para que determinada coisa atualize suas potencialidades. Para um papel que nesse momento é branco e ficará amarelado com o tempo, é dito que é branco em ato e amarelo em potência. Dessa forma, “o movimento é, pois, a atualização do potencial, quando ao estar atualizando-se opera não enquanto ao que é em si mesmo, senão, no entanto que é móvel...” (ARISTÓTELES, 1995, 201a). Durante o movimento, há estágios sucessivos em que a coisa pode ser ato e potência. Por exemplo, um jovem é jovem como ato, porém adulto em potência; uma semente é uma forma inacabada de uma árvore e buscará sua atualização gradualmente – ou seja, é semente em ato, porém árvore em potência. Portanto, estará submetida ao processo de mudança [movimento], indo do estágio de menor desenvolvimento – semente – ao de maior desenvolvimento – árvore –, gradualmente, e passando por estágios intermediários, de tal maneira que busque sua atualização.

Segundo Aristóteles, o movimento ocorre por que algo tem a capacidade de estar em movimento. Se há um móvel é porque há movedor e, se esse movedor faz com que o móvel esteja em movimento, atualizando suas potencialidades, também deve estar em movimento. Movedor e móvel devem estar em contato, o movedor podendo ser o próprio corpo (movimento natural) ou externo a ele (movimento não natural, forçado ou violento).

Da mesma maneira com que Aristóteles conceitua quatro causas, também o faz para os movimentos: 1) movimento substancial ou segundo a substância; 2) movimento qualitativo ou segundo a qualidade; 3) movimento quantitativo ou segundo a quantidade; e 4) movimento local ou segundo o lugar.

Esses movimentos são distintos entre si, não se confundem e não se misturam. Entretanto, nenhum movimento ocorre sem que ocupe um lugar: “O lugar é algo importante e difícil de captar [...]” (ARISTÓTELES, 1995, 212a). Assim, o movimento local é aquele que antecede os demais.

Nesse sentido, pensar em movimento, de acordo com as crenças aristotélicas, é assumir que não faria sentido a existência de nenhum outro movimento sem a existência do movimento local. Sendo assim, os diferentes elementos e os diferentes lugares para cada um dos elementos assumem papel central no universo aristotélico, organizado e hierarquizado. Cada elemento possui sua importância para a composição dos corpos e sua localização nesse universo. De acordo com Ross,

[t]odos os corpos homômeros devem conter o elemento terra, uma vez que esta predomina na região sublunar, a única onde pode ser encontrada. Todos devem conter o elemento água, uma vez que os compostos devem possuir um contorno definido e, entre os elementos, somente a água é facilmente adaptável a uma forma, e (por outro lado) a terra não possui qualquer poder de coesão sem a sua ajuda [...] (1987, p. 113).

Assim, os corpos simples são todos aqueles que possuem em si o princípio do movimento, como o fogo, a terra e suas espécies. Os movimentos hão de ser simples para os corpos simples e mistos para os corpos mistos, movendo-se segundo o elemento predominante.

O movimento local há de ser retilíneo, circular ou um misto de ambos, por serem os únicos movimentos simples. Sendo assim, o movimento retilíneo pode ser ascendente ou descendente, sendo que é “ascendente ao que se afasta do centro, descendente, ao que se aproxima do centro” (ARISTÓTELES, 1980, 268b), e circular, aquele que ocorre em torno do centro, “de modo que, necessariamente, toda translação sempre há de se dar desde o centro, até o centro ou em torno do centro” (ARISTÓTELES, 1980, 268b).

Os movimentos ascendentes e descendentes são mutuamente contrários e naturais dos corpos simples compostos de fogo e terra. O movimento circular não possui um contrário. Segundo Aristóteles,

[n]o caso de que um movimento em círculo fora contrário a outro, um dos dois seria em vão; em efeito, <ambos iriam parar> no mesmo lugar, dado que, necessariamente, o que desloca em círculo, não importa de onde parta, chegará de todo modo sempre aos mesmos lugares (as contrariedades de lugar são: acima e abaixo, frente e atrás, direita e esquerda), e as contrariedades de translação são segundo as contrariedades dos lugares; em efeito, se <as translações circulares contrárias> foram iguais, não teriam movimento, o outro não existiria [...] (1980, 271a).

A ANTIPERÍSTASE DE ARISTÓTELES

Segundo as crenças aristotélicas, os objetos cujo movimento fosse violento estariam corrompendo a ordem natural, na medida em que não estariam se movimentando para seu lugar natural. Restaria, portanto, responder às seguintes perguntas: sendo a ordem hierarquizada dos elementos a causa para o movimento natural, como explicar a manutenção do movimento violento?; o que manteria o movimento violento, cessado o contato com o agente movedor?; como explicar a diminuição do movimento violento até cessar e passar ao movimento natural?

Aristóteles entendia que todo movimento só seria possível mediante a presença de um agente motor. Baptista e Ferraciolli citam o livro VII da obra *Física*, de Aristóteles: “tudo que se move deve ser movido por alguma coisa” (ARISTÓTELES *apud* BAPTISTA; FERRACIOLLI, 1999, p. 191). Assim, o motor, de acordo com as concepções aristotélicas, deveria se fazer presente durante o movimento. No caso do movimento natural, o motor (agente movedor) seria o lugar natural (causa externa) e o elemento preponderante no corpo movido (causa interna).

Então, para explicar o movimento violento, Aristóteles buscou apoio nas explicações de Platão para o fluxo de ar nos pulmões, chamado *antiperístase* ou processo de mútua substituição. De acordo com a ideia de *antiperístase*, o ar atuaria como agente motor, mantendo o movimento violento do corpo após a perda de contato desse com a causa inicial do movimento. Baptista e Ferraciolli, ao mencionar novamente o livro IV da *Física*, sobre o processo de mútua substituição, escrevem:

[...] o corpo substitui o ar que ele comprime em seu movimento e que refluí para a retaguarda e [o corpo] toma o lugar da porção de ar que desloca-se para o lugar que ocupava [...] como consequência da compressão do ar frente ao projétil e do empuxo aplicado à retaguarda do mesmo devido ao refluxo do ar em torno do projétil, movendo-se assim mais rapidamente que o seu movimento natural (para baixo e para o centro do mundo) [...] 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 [...] (ARISTÓTELES *apud* BAPTISTA; FERRACIOLLI, 1999, p. 191).

Assim, segundo Aristóteles, o ar desempenharia dupla função no movimento: exercendo poder motor após o impulso inicial e como resistência sobre o corpo. Justamente essas funções, aparentemente opostas, serão alvo de críticas por diversos pensadores do movimento nos séculos seguintes.

A TEORIA DO *IMPETUS* DE BURIDAN E ORESME¹

O modelo da *antiperístase* de Aristóteles para explicar o movimento violento sofreria críticas justamente por necessitar de uma comunicação constante entre o corpo e meio. O ar tinha dupla função, servindo de motor ao mesmo tempo que oferecia resistência ao movimento.

John Philoponos (475-565 d.C.), Jean Buridan (1297-1358) e Nicole Oresme (1320-1382) são os mais citados por criticarem o modelo da *antiperístase* e oferecerem alternativas a ele. De maneira bastante superficial, os três propõem, cada qual à sua época e com diferentes ajustes, a substituição do ar como agente motriz externo por uma espécie de força adquirida pelo corpo no momento do lançamento a partir do agente lançador.

Assim, por exemplo, uma pessoa, ao lançar um corpo pesado para cima, deixa parte de sua força de lançamento no corpo, ao mesmo tempo que desloca parte do ar no momento do lançamento. Essa força, impregnada no corpo, será, pouco a pouco, diminuída pela resistência que o ar lhe impõe, por se movimentar contra o movimento natural; ou seja, o ar atua como agente resistivo. Ao mesmo tempo, o ar deslocado no momento do lançamento faria uma espécie de vórtice, dando a volta no corpo, empurrando-o por baixo e atuando como agente motor.

A crítica que John Philoponos fez ao modelo da *antiperístase* estava relacionada com o fato de o ar sofrer uma impulsão contínua do movente, ser deslocado, circular o corpo para depois empurrá-lo, mantendo o movimento. Na citação que Neves faz da obra de Philoponos, essa ideia fica evidente:

[...] o ar em questão deve fazer três movimentos diversos: deve ser empurrado pela flecha, deve mover-se para trás e, finalmente, deve girar e proceder novamente para frente. Uma vez que o ar é facilmente movido, e se move a uma distância considerável, como, em consequência, pode o ar, empurrado pela flecha, não se mover na direção do impulso impresso, mas, ao invés, girar para trás, por algum comando, e retrair o seu curso? Além do mais, como pode o ar, girando para trás, evitar de escapar para o espaço (circundante), e imprimir precisamente sobre a parte final da flecha, e novamente empurrá-la? Uma tal ideia é não somente incrível como também bastante fantasiosa (PHILOPONOS *apud* NEVES, 2000, p. 04).

Segundo Philoponos, o movimento violento poderia ser explicado por uma “força impressa” ao corpo no momento do lançamento. Tal força seria uma qualidade interna, que se esgotaria aos poucos como resultado da resistência exercida pelo meio. Então, o ar passaria a ter somente papel resistivo, em oposição ao movimento, e não mais agiria como motor que comunica o movimento ao corpo. Para Philoponos,

[...] é necessário assumir que alguma força motiva incorpórea seja dada do projetor ao projétil, e que o ar posto em movimento contribui em nada ou muito pouco para o movimento do projétil [...] E não será necessário nenhum agente externo ao projetor (PHILOPONOS *apud* NEVES, 2000, p. 8).

Essas discussões não eram exclusivas dos pensadores ocidentais. Roberto de Andrade Martins (2018) destaca que pensadores islâmicos também questionaram as explicações aristotélicas para o movimento local. Segundo Martins, esses pensadores

1. A proposta do artigo é apresentar alguns elementos relativos às três teorias explicativas para o movimento: a aristotélica, a teoria do *impetus* e a inércia. Isso não significa que uma explicação surja de maneira simplista com relação à anterior. Aspectos relacionados ao contexto interno e externo devem ser examinados para aqueles que pretendem maior rigor historiográfico. A esse respeito, ver, por exemplo, Évora (1996) e Campos (2008).

supunham que o mayl era um poder transmitido ao projétil pela pessoa ou instrumento que o lançava. Para alguns deles, o mayl tendia a desaparecer sozinho, como um objeto quente que vai esfriando espontaneamente. Para outros, o mayl tendia a permanecer constante, ou seja, os projéteis tendiam a manter seu movimento, porém essa tendência ia diminuindo por causa das resistências do ar e de outras causas (2018, p. 5).

De fato, ainda de acordo com Martins (2018, p. 5-6), não se pode afirmar categoricamente se tais ideias chegaram e/ou influenciaram Buridan ou Oresme.

Durante o século XII, Jean Buridan, também critica a teoria da *antiperístase* por dois motivos: 1) a dupla e contraditória função do ar; e 2) por não oferecer uma explicação satisfatória que desse conta dos movimentos circulares na região terrestre. Baptista, em seu artigo, faz referência a Jean Buridan, como vemos nas seguintes citações:

1) Uma roda persiste no seu movimento de rotação mesmo após ter cessada a ação motora externa. Como poderia se processar a antiperístase neste caso?;

2) Considerem-se dois corpos em forma de dois bastões de madeira, sendo que um deles tem sua extremidade aguçada 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 se observa, não sucede. Como explicar a ineficácia da antiperístase no caso? (BURIDAN *apud* BAPTISTA; FERRACIOLI, 1999, p. 192-193).

De maneira semelhante à Philoponos, Buridan sugere que a continuação do movimento do projétil seja uma qualidade permanente, sendo transmitido no momento do lançamento. Essa qualidade recebeu o nome de *ímpeto*. A esse respeito, escrevem Baptista e Ferracioli:

O ímpeto é uma qualidade permanente do corpo, embora possa ser destruída por agentes contrários, e é tal que ele não é autodesvanecente 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 (1999, p. 193).

Para Buridan, o ímpeto dependia de dois fatores: 1) a velocidade do projétil; e 2) a quantidade de matéria do corpo. A velocidade do projétil era um fator externo e a quantidade de matéria, interno. Assim, Buridan explicava que, se um pedaço de ferro e um de madeira, de forma e volume idênticos, fossem movidos com a mesma velocidade, o de ferro atravessaria uma distância maior, porque a sua maior quantidade de matéria poderia receber mais ímpeto e durar por mais tempo contra as resistências externas.

Essa perspectiva tornou possível explicar o movimento natural e o movimento violento por meio de uma única teoria. Para o movimento violento, haveria uma diminuição da velocidade do projétil – portanto, de seu ímpeto. Para o natural, um aumento da velocidade – portanto, de seu ímpeto. Nesse sentido,

[a] aceleração contínua é devida à gravidade que está continuamente imprimindo mais e mais ímpeto sobre corpo. O aumento contínuo do ímpeto produz o crescimento contínuo da velocidade. No caso de um corpo lançado na vertical e para cima, a velocidade inicial representa um ímpeto impresso no corpo que vai diminuindo pela ação contrária da gravidade, até que o ímpeto total tenha sido completamente esgotado e o corpo momentaneamente se encontrará em repouso. A seguir, a ação da gravidade comunica-lhe velocidade e ímpeto que crescem na forma descrita acima até atingir a velocidade de partida (BAPTISTA; FERRACIOLI, 1999, p. 193).

O sucesso da teoria do ímpeto motivou Buridan a considerar plausível a ideia de que o movimento eterno e constante dos céus seria decorrente da impressão do ímpeto por Deus no início da criação. Buridan não foi o primeiro a questionar as ideias da antiperístase, mas certamente ele e os pensadores da chamada escola de Paris são os expoentes para a formulação dessa teoria. Mora cita a teoria do ímpeto como uma das possíveis

interpretações da teoria da antiperístase, ao afirmar que, “[...] ao mesmo tempo, pode-se considerar a doutrina de Buridan como exemplo de uma das possíveis interpretações aristotélicas [...]” (2001, p. 1462).

Nicole Oresme, pupilo de Buridan, concebe representações gráficas como uma nova técnica para o estudo do movimento.² As ideias que Buridan formulou eram tão consistentes e bem-articuladas que levaram Oresme a cogitar uma possível rotação da Terra (movimento diurno). Ele não acreditava nessa ideia,³ mas afirmava que os efeitos físicos observados seriam os mesmos estando a Terra imóvel e fixa no centro do universo ou girando em torno do próprio eixo. Para ele, nenhum argumento lógico, físico ou bíblico poderia refutar essa possibilidade. De qualquer forma, essa ideia chegaria a Galileu, e seria um de seus alicerces nos estudos do movimento nas regiões terrestre e celeste, bem como da relatividade dos movimentos.

AS IDEIAS DE MOVIMENTO DE GALILEU E A NECESSIDADE DE MUDANÇAS

Galileu foi um estudioso do movimento. Estava preocupado com o estudo dos movimentos acelerados. Provavelmente estudou as obras de Aristóteles, Buridan e Oresme. Em suas obras, é comum encontrarmos referências a Aristóteles e às ideias do ímpeto, assim como demonstrações gráficas entre distância percorrida $\times$ tempo e velocidade $\times$ tempo, fosse para queda livre, fosse para o plano inclinado.

À época, as explicações e crenças para o sistema de mundo permaneciam as aristotélicas. O modelo heliocêntrico de Copérnico deslocava o centro do mundo, da Terra para o Sol. Essa mudança não era tão simples, tinha implicações. Seria necessário modificar também as teorias que explicavam os movimentos do céu. Respostas para explicar o dia e a noite e a razão pela qual as pessoas não seriam arremessadas ao espaço, num provável movimento diurno, deveriam ser respondidas. Nessa perspectiva, pergunta Anna Maria Alfonso-Goldfarb:

[a]final, por que não caíamos da Terra se ela se movia? De que ângulos estávamos enxergando o céu, qual nosso ponto de referência? Participaríamos do movimento perfeito do céu aqui na Terra? Ou seria o movimento do céu menos perfeito do que se havia acreditado? E se fosse assim o que justificaria seu eterno movimento? Não seriam, então, os céus feitos da mesma matéria imperfeita e sujeita às mesmas mudanças que a Terra? [...] (2004, p. 43).

Galileu terá que dar conta de todas essas indagações. Para isso, apoia-se em aspectos explícitos e explicitáveis/tácitos presentes na teoria do ímpeto, adaptando-a. Um desses aspectos tácitos era o referencial⁴ inercial, do qual Galileu se vale em parte da “Segunda Jornada” dos *Diálogos*. Até então, um corpo só poderia assumir um estado: ou movimento ou repouso. Galileu argumenta, então, que um corpo em movimento uniforme poderia assumir os dois estados simultaneamente: movimento e repouso.

Em um trecho dos *Diálogos*, o autor lança mão de uma experiência mental para explicar o movimento uniforme do navio em duas situações: numa delas, com o navio em repouso para determinado observador; em outra, em movimento uniforme para outro observador. Sagredo, uma das personagens nos *Diálogos*, reflexivo nas observações de Salviati, comenta:

Estas observações, ainda que navegando não me tenha deliberadamente ocorrido fazê-las, todavia estou mais que certo de que acontecerão da maneira relatada: e como confirmação disso, lembro-me de que, estando no meu camarote, encontrei-me por centenas de vezes perguntando se o navio caminhava ou estava parado e, algumas vezes, fantasiando, acreditava que ele seguisse numa direção, enquanto o movimento era na direção contrária [...] (GALILEI, 2004, p. 269).

2. Em *Le Livre*, Oresme se vale da geometrização dos movimentos nas regiões terrestre e celeste. Para os movimentos no mundo terrestre, estabelece que a distância percorrida seria a hipotenusa de um triângulo qualquer e o tempo estaria representado num dos catetos. Para os movimentos no mundo celeste, elabora um intrincado sistema mecânico que se manteria em movimento a partir do ímpeto inicial, dado por Deus, no momento da criação (ORESME, 1968, p. 201-203).

3. Ver Campos (2008, p. 101).

4. Vale destacar que Galileu não usa, de maneira explícita, a ideia de referencial inercial. Seu uso se dá de maneira tácita, ainda antes de sua definição, que ocorreria depois, com Newton.

Os efeitos percebidos dentro do navio nada poderiam afirmar acerca de seu estado. Movimento e repouso são conceitos relativos que dependem de um referencial, tácito, porém ainda não explicitado. Um corpo poderia estar em movimento para determinado referencial e em repouso para outro. A seguir, Galileu estende essa ideia para questionar a imobilidade da Terra e seu possível movimento diurno, pois os efeitos físicos percebidos seriam os mesmos e nada se poderia afirmar. Novamente, Sagredo, atento, responde:

[...] Ora, se para alcançar o mesmo efeito, tanto faz se somente a Terra se mova, ficando parado todo o restante do universo, que se, ficando parada somente a Terra, todo o universo se mova com um mesmo movimento, quem quererá acreditar que a natureza tenha escolhido fazer mover um número imenso de corpos enormes, e com uma velocidade inestimável, para obter aquilo que com o movimento insignificante de um só em torno do seu próprio centro poderia obter? (GALILEI, 2004, p. 197).

Aqui novamente aparece a ideia do referencial inercial; a mesma usada no exemplo do navio. Fica claro que Galileu usa esses argumentos para deslocar a Terra do centro do mundo de modo que o sol assumisse tal posição. Tal deslocamento implica a crença de uma região celeste perfeita, constituída pelo elemento puro, o éter, e com o movimento circular e eterno, perfeito.

Nesse sentido, a teoria do ímpeto vai sendo reconfigurada, ficando, pouco a pouco, descaracterizada. Os argumentos utilizados por Galileu eram inquestionáveis e permitiam avançar para além dos movimentos violentos. O autor se valia de exemplos para que se levasse à unificação dos movimentos nas regiões celeste e terrestre.

Diferentemente das observações e inquietações de Galileu, as crenças aristotélicas sustentavam um movimento circular perfeito, próprio da região celeste, em oposição ao movimento retilíneo, imperfeito, próprio da terrestre. Enquanto o movimento circular manteria a ordem no universo, o movimento reto não.

Então, para explicar a razão pela qual vemos um movimento retilíneo quando um corpo está em queda livre, Galileu “usa”, de maneira tácita, o recurso do referencial inercial. Segundo o autor, o movimento natural circular teria origem no movimento diurno da Terra, que não perceberíamos por participarmos dele.

Para Galileu, os movimentos locais seriam circulares, não retos. Um corpo em queda livre seria, então, uma composição do movimento circular, em decorrência do movimento diurno (rotação) da Terra com o movimento reto para baixo. Na medida em que o corpo cai, a Terra gira e o corpo segue seu giro, caindo, na verdade, circularmente. Sagredo questiona tal posicionamento de Salviati, tendo em vista que, num corpo em queda, não se visualiza outro movimento que não aquele reto para o centro da Terra. Salviati explica:

[...] Sr. Sagredo, não vemos outra coisa que o movimento simples para baixo, posto que o outro circular, comum à Terra, à torre e a nós, permanece imperceptível e como nulo, e somente podemos notar aquele da pedra, do qual não participamos [...] (GALILEI, 2004, p. 244).

Essa ideia está claramente relacionada à preocupação de Galileu em justificar o movimento diurno da Terra. Percebem-se claramente resquícios do pensamento aristotélico, uma vez que o movimento reto tem a função de reconduzir as partes à ordem.

O agente que dá continuidade ao movimento quando cessada a causa é outra preocupação de Galileu. Para Aristóteles, o motor, agente mantedor do movimento, é o ar, externo. Na teoria do ímpeto, o agente motor é o próprio corpo, interno. Galileu abre mão do motor para explicar os movimentos locais. Não queria acreditar no ímpeto como uma qualidade. Para ele, o ímpeto seria um impulso inicial, não algo que mantivesse o movimento. Haveria, assim, alguma outra propriedade capaz de manter ou dificultar o movimento.

Por um lado, Galileu parecia incomodado com a teoria do ímpeto como se apresentava; por outro, não tinha uma explicação melhor a oferecer. Faltava-lhe o conceito de massa. Sabe-se hoje que é a massa inercial que torna possível explicar a facilidade ou a dificuldade que os corpos apresentam para iniciar ou cessar o movimento. Contudo, à época, o conceito de massa não existia.

Também o termo “gravidade” não tinha o significado de força gravitacional ou de força peso que tem hoje. Estava relacionado à crença aristotélica de elementos e de um sistema de mundo hierarquizado. Com respeito a esse aspecto, pode-se ler nos *Diálogos*:

Salviati: [...] Mais ainda, quero fazer o mesmo se ele souber ensinar-me o que move as partes da Terra para baixo.

Simplicio: A causa desse efeito é conhecidíssima, e qualquer um sabe que é a gravidade.

Salviati: [...] Mas eu não vos pergunto o nome, mas a essência da coisa: essência da qual não sabeis nada além daquilo que sabeis a respeito da essência do movente que faz girar as estrelas, excetuando o nome, que a esta foi atribuído e tornado familiar e comum pela experiência frequente que vemos milhares de vezes ao dia; mas não é que realmente compreendemos melhor que princípio ou que virtude seja aquela que move a pedra para baixo, do que sabemos o que a move para cima, quando separada do arremessador, ou o que faz girar a Lua, exceto (como afirmar) o nome que, de modo mais singular e próprio, o referimos como *gravidade*, enquanto com um termo mais genérico o referimos como *virtude impressa*, àquele atribuímos *inteligência*, ou *assistente* ou *informante*, e a outros infinitos movimentos atribuímos como causa a natureza.

Simplicio: [...] porque ainda que, por exemplo, eu não sabia o que seja a gravidade, pela qual a Terra desce; sei que ela é um princípio interno, porque não sendo impedido, move espontaneamente; e ao contrário sei que o princípio que a move para cima é externo, ainda que eu não saiba que coisa é a virtude que lhe é impressa pelo arremessador.

Salviati: [...] É preciso também dizer necessariamente que aquela virtude que a conduz para o alto não é menos interna que aquela que a move para baixo; e assim, eu considero natural o movimento para cima dos graves pelo ímpeto concebido, como é o movimento para baixo dependente da gravidade (GALILEI, 2004, p. 316-317).

Por não conhecer a massa, era impossível saber o que era força gravitacional. Para Galileu, o termo “gravidade” estava relacionado ao ato de determinado objeto pesado que cai, atribuindo a esse objeto uma gravidade própria. O termo “gravidade” era uma qualidade, assim como era o termo “ímpeto”.

Com relação às explicações para o movimento horizontal, Galileu terá êxito. Sugerirá que um corpo mantém seu movimento espontaneamente, cessados os impedimentos externos. Curiosamente, não recorre à teoria do ímpeto para explicar o movimento horizontal. O ímpeto aqui tem outro caráter: funciona como impulso, não como qualidade interna, motora. Essa conclusão pode ser verificada num questionamento entre Salviati e Simplicio:

Salviati: [...] Dizei-me agora o que aconteceria com o mesmo móvel sobre uma superfície que não estivesse nem em auge nem em declive.

Simplicio: [...] parece-me, portanto, que ele deveria ficar em repouso [...]

Salviati: Assim acredito, quando alguém o colocasse parado; mas se lhe fosse dado um ímpeto⁵ em direção a alguma parte, o que acontecerá?

Simplicio: Continuará a mover-se na direção daquela parte.

Salviati: Mas com que espécie de movimento? Por um movimento continuamente acelerado, como nos planos em declive, ou por um movimento sucessivamente retardado, como nos aclives?

Simplicio: Eu não consigo perceber causa de aceleração nem de retardamento, não existindo nem declividade nem aclividade.

5. A ideia de ímpeto utilizado por Galileu é ligeiramente diferente do conceito estabelecido por Buridan. Aqui está mais próximo do conceito de impulso, ou seja, uma força aplicada num tempo muito curto.

Salviati: [...] quanto acreditais, portanto, que duraria o movimento do móvel?

Simplicio: Tanto quanto durasse o comprimento daquela superfície que não é nem subida, nem descida.

Salviati: Portanto, se esse espaço fosse ilimitado, o movimento nele seria igualmente sem fim, ou seja, perpétuo?

Simplicio: Parece-me que sim [...] (GALILEI, 2004, p. 228-229).

Galileu elimina a necessidade do motor para o movimento horizontal. Seja ele de ordem externa, o que ocorria na teoria da antiperístase, seja de ordem interna, como na teoria do ímpeto. O móvel manterá, espontaneamente, seu movimento uniforme, a menos que exista algum impedimento externo.

A teoria do ímpeto com Galileu vai sendo modificada, tomando outra forma. Galileu contribui com elementos para a teoria da inércia, mas não tem êxito para explicar os movimentos verticais, o que só seria possível com o aparecimento do conceito de massa. Modifica alguns aspectos da teoria do ímpeto, mas não tem outra que explique melhor os movimentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este breve trabalho mostrou três explicações para o movimento dos corpos. Como se percebeu, uma nova teoria surge como resultado de questionamentos que a teoria anterior não respondia satisfatoriamente.

A teoria do ímpeto surgiu da necessidade que se tinha para ajustar algumas lacunas que a teoria da *antiperístase* deixara, especificamente, ao se criticar o ar como meio motor que mantivesse o movimento dos corpos após o impulso inicial. Dizer que a teoria do ímpeto foi construída para complementar a teoria da *antiperístase* é pertinente, como foi visto.

De forma semelhante, Galileu apontou falhas na modelo do ímpeto. Sugeriu mudanças, contribuindo para que se pudesse desenvolvê-la. Certamente uma ideia que serviu de alicerce para Galileu foi a de referencial inercial, emprestada de Oresme. Galileu deixou claro que poderia haver uma única teoria capaz de explicar os movimentos nas regiões terrestre e celeste.

A ideia do ímpeto é uma reformulação da ideia da antiperístase. O ímpeto é uma qualidade do corpo que depende de dois fatores: a quantidade de material e a velocidade do corpo. A unificação dos movimentos locais é um avanço aqui. No entanto, ainda temos a separação dos movimentos nas regiões terrestre e celeste.

A ideia de ímpeto de Galileu é mais abrangente, uma vez que fica a proposta para uma possível unificação dos movimentos nas duas regiões. As dificuldades de Galileu têm duas frentes: 1) não ter conhecimento do conceito de massa; e 2) assumir o movimento circular como natural.

O conceito de massa não é simples e as questões que Galileu se propõe responder esbarram nesse conceito. Falta a ideia de massa inercial para explicar a tendência de os corpos permanecerem em movimento, bem como a ideia de massa gravitacional para explicar a queda livre e os movimentos verticais. É como se faltasse uma peça para terminar o quebra-cabeça.

O que Galileu fez, então, foi cogitar a existência de uma essência nos corpos, que seria responsável pela queda livre. Parece-nos, embora não se possa afirmar, que faltou pouco para chegar ao conceito de massa gravitacional. Ele falava em gravidade como qualidade dos graves, não como uma força.

DISPONIBILIDADE DE DADOS

Todos os dados foram gerados ou analisados no presente estudo.

FINANCIAMENTO

Não se aplica.

AGRADECIMENTOS

Não se aplica.

REFERÊNCIAS

ALFONSO-GOLDFARB, A. M. **O que é História da Ciência**. São Paulo: Brasiliense, 2004.

ARISTÓTELES. **On the heavens**. Tradução para o inglês W. K. C. Guthrie. Cambridge: Harvard University Press, 1980.

ARISTÓTELES. **Física**. Tradução para o espanhol G. R. de Echandía. Madrid: Editorial Gredos, 1995.

ARISTÓTELES. **Acerca del cielo**. Tradução para o espanhol Miguel Candel. Madrid: Editorial Gredos S.A., 1996.

BAPTISTA, J. P.; FERRACIOLI, L. A evolução do pensamento sobre o conceito de movimento. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 21, p. 187-194, 1999.

CAMPOS, A. **A Teoria do Impetus de Nicole Oresme e a possibilidade do movimento diurno no *Le livre du ciel et du monde***. 2008. Dissertação (Mestrado em História da Ciência) – Programa de Estudos Pós-graduados em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2008.

CHAUÍ, M. **Introdução à História da Filosofia**. 2. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

CHAUÍ, M. **O que é ideologia**. 2. ed. São Paulo: Editora Brasiliense, 2006.

ÉVORA, F. R. R. **A evolução do conceito de inércia**: de Philoponos a Galileu. 1996. Tese (Doutorado em Filosofia) – Departamento de Filosofia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

GALILEI, G. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano**. Tradução para o português P. R. Mariconda. 2. ed. São Paulo: Discurso Editorial/Imprensa Oficial, 2004.

KOYRÉ, A. **Estudos Galilaicos**. Tradução para o português N. F. da Fonseca. Lisboa: Publicações Dom Quixote Lda., 1986.

MARTINS, R. A. Um precursor medieval do princípio de inércia: a teoria do ímpeto de Jean Buridan. In: SILVA, A. P. B.; SILVEIRA, A. F. (eds.). **História da ciência e ensino**: fontes primárias. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2018. p. 31-58.

MORA, J. F. **Dicionário de filosofia**. São Paulo: Edições Loyola, 2001. 4 v.

NEVES, M. C. D. Uma investigação sobre a natureza do movimento ou sobre uma história para a noção do conceito de força. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, p. 01-21, 2000.

ORESME, N. **Le livre du ciel et du monde**. Tradução para o inglês A. D. Menut. New York: University of Wisconsin Press, 1968.

REALE, G. **História da filosofia antiga**. 9. ed. Tradução para o português Henrique Cláudio de Lima Vaz. São Paulo: Edições Loyola, 1994. 5 v.