

# Um debate separado por 17 séculos: tradução comentada de um trecho da obra *Questões sobre o oitavo livro de física de Aristóteles*, por João Buridan

ALEX LINO

Instituto Federal de São Paulo | IFSP

MARCOS CESAR DANHONI NEVES

Universidade Estadual de Maringá | UEM

**RESUMO** Apresentamos uma tradução do latim para o português, comentada, de um importante trecho do trabalho de João Buridan (1300-1358), *Questões sobre o oitavo livro da Física de Aristóteles*, em que desenvolve sua teoria do ímpeto contra a concepção de movimento aristotélica. Buridan não consegue aceitar a teoria aristotélica da qual seria o meio a causar a continuação do movimento de um projétil uma vez que se soltou da mão do projetante. O trabalho aqui traduzido é importante, pois nos fornece um exemplo histórico de reconstrução do pensamento dos antigos. E pode ainda mostrar como o método histórico é importante em termos de instrução no ensino de ciências. Inicialmente apresentamos as ideias concernentes ao movimento aristotélico, e posteriormente, a tradução do trabalho de Buridan, de tal forma que o processo se assemelhe a um debate entre os dois pensadores. Assim acreditamos esclarecer, mais facilmente, as origens das ideias da teoria do ímpeto de João Buridan.

**Palavras-chave** teoria do ímpeto – Buridan – Aristóteles – antiperístases.

255

## Introdução

A negação do valor do método histórico no Ensino de Ciências se fundamenta quase sempre sob as seguintes perguntas retóricas: por que perder tempo ensinando teorias falsas aos estudantes? Por que devemos falar de uma teoria precedente se ela não é mais válida? A resposta a essas perguntas talvez possa ser encontrada refletindo sobre qual seria a validade da História e Filosofia da Ciência (HFC) nestes casos.

Uma das validades da HFC para o Ensino de Ciências que poderíamos citar seria a sua contribuição à formação das pessoas, o que pode ser uma garantia da modificação da visão falsa de ciência devido uma visão a-histórica. Mas qual seria essa visão falsa de ciência? Primeiramente, o ensino de ciências, sem o enfoque histórico, pode fazer com que o estudante não perceba que o conceito ou conhecimento científico que está estudando tenha passado por um processo de desenvolvimento. Isso pode gerar uma visão de que a ciência é uma verdade absoluta e imutável ou algo

acabado. Os cientistas enfrentaram e enfrentam muitas dificuldades para garantir uma explicação mais adequada dos fenômenos da natureza. E estas explicações não garantem uma verdade absoluta: estas ainda podem sofrer modificações.

A visão de ciência como verdade absoluta não estimula em nada a formação de um cidadão crítico, pois, desta forma, não existe espaço para dúvidas sobre os produtos da ciência. Então, por que se questionar, se o produto foi gerado por uma ciência que não comete erros?

O uso didático de HFC no ensino podem fazer com que os alunos alcancem melhor compreensão dos aspectos mais gerais e, às vezes, particulares da ciência e ainda pode ajudar a desenvolver a metacognição, aumentando a capacidade de compreender sobre os processos de pensamento a partir do envolvimento do aluno em debates históricos, como por exemplo um embate entre teorias rivais<sup>1</sup>.

As justificativas mais recorrentes que encontramos na literatura sobre o uso didático da HFC no Ensino de Ciências são as possibilidades de<sup>2</sup>:

- aumentar a predisposição em aprender;
- ajudar na compreensão dos conceitos de ciências;
- desenvolver o senso crítico e reflexivo do aluno;
- se discutir a natureza da ciência e mostrá-la como uma construção humana.

No entanto devemos estar atentos sempre ao uso inadequado da concepção histórica e filosófica no ensino de ciências, pois frequentemente, essa se reduz a uma mera caricatura dos cientistas e em um amontoado de fatos históricos com o objetivo de fazer com que os alunos memorizem todos os argumentos envolvidos, datas e nomes de cientistas.

A intenção maior da abordagem histórica e filosófica, que defendemos aqui, é a sua contribuição para a construção de uma visão mais ampla a respeito das questões envolvidas no desenvolvimento histórico de determinados conhecimentos científicos. Uma abordagem que auxilie e instigue a racionalização do aprendiz no conceito em estudo, considerando fatores sociais, políticos e culturais envolvidos na elaboração de uma teoria, ou até mesmo na disputa entre elas.

*Com isso, o estudo da história e filosofia da ciência contribuiria para evitar a crença generalizada do mito dos “grandes gênios” como Galileu, Darwin, Lavoisier ou Einstein que teriam descoberto a verdade através de um método científico infalível, corrigindo o erro dos ignorantes de épocas anteriores e a visão de que o conhecimento é um produto acabado e que não resta mais nenhum problema significativo a resolver<sup>3</sup>.*

As abordagens históricas têm sido propostas com o intuito de modificar os currículos de ciências, em todos os níveis de ensino, propondo que elas possam contribuir principalmente para: (1) humanizar as ciências, conectando-as com preocupações pessoais, éticas, culturais e políticas; (2) tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e estimular o desenvolvimento de habilidades de raciocínio e pensamento crítico; (3) promover uma compreensão mais profunda e adequada dos próprios conteúdos científicos<sup>4</sup>.

Acreditamos que fazer os estudantes participarem das discussões históricas, que sejam oportunamente simplificadas (mas não deturpadas), estimulando-os a imaginarem quais “conselhos” teriam dado aos grandes cientistas do passado, serviria para aumentar o grau de consciência das noções físicas, dando-lhes, ao mesmo tempo, a experiência, preciosíssima, de como nasce uma hipótese científica e de quão pouco a pesquisa científica possa ser descrita em termos de “racionalidade instantânea”. Para os estudantes é muito útil entrar em contato com a dimensão da *controvérsia* na pesquisa científica, pois isso lhes prepara para confrontar com maior consciência as temáticas atuais, em vários campos científicos, sobre qual o consenso dos cientistas é ainda incerto e precário.

Tendo em vista as preocupações iniciais apresentadas, fornecemos, por meio deste trabalho, um exemplo de discussão histórica que pode ser realizada no ensino de ciências a partir do embate entre duas teorias rivais não contemporâneas. Apresentamos aqui uma parte da história da modificação da interpretação do conceito de movimento,

por meio de uma espécie de debate entre as ideias de Aristóteles e de Buridan. Iniciamos com as interpretações de Aristóteles sobre o movimento e, depois, como Buridan as reformulou. As ideias de Buridan são apresentadas com a tradução de um trecho de sua obra *Questões sobre o oitavo livro da Física de Aristóteles*, em que apresenta a sua teoria do ímpeto contra a ideia de antiperístases.

Devemos deixar claro que esta é apenas uma parte da discussão sobre as teorias que se propunham a explicar o movimento. Após as ideias de Buridan muitos conceitos ainda seriam desenvolvidos acerca do movimento de um projétil, tais como as grandezas relativas à cinemática de Galileu, a quantidade de movimento iniciada com Descartes<sup>5</sup>, e o conceito de energia com Leibniz<sup>6</sup>.

## O conceito de movimento por Aristóteles

Conhecido como filósofo grego e fundador do Liceu de Atenas, Aristóteles (384 – 322 a.C.), escreveu amplamente sobre assuntos científicos, embora seja talvez mais conhecido e valorizado por seus trabalhos sobre lógica e outras áreas da filosofia. Buscamos desenvolver inicialmente as concepções de Aristóteles sobre o movimento que resultaram na elaboração da teoria do ímpeto de Buridan.

Discutiremos aqui as ideias de movimento aristotélica sob duas óticas: i) a ideia da origem de um movimento nas interações entre o projétil e projetante (móvel e movente) e; ii) a ideia de incorruptibilidade do movimento.

Na primeira abordagem encontramos o conceito de *antiperístases*, que será fonte de discussão de filósofos futuros, os quais tentarão refutar tal ideia, originando outros conceitos para a explicação do movimento; na segunda abordagem encontramos sua ideia de constância do movimento, a qual também será conceito influenciador, sendo posteriormente questionado e desenvolvido.

Para tanto, utilizaremos seu trabalho intitulado *Física*, especialmente o capítulo VIII, que dividido em dez partes, aborda extensivamente a explicação do movimento dos corpos. Este trabalho pode ser considerado um modelo claro e compreensível, de um ponto de vista científico, de uma ideia de constância em meio às modificações, um princípio da fundamental ideia de conservação<sup>7</sup>. Podemos encontrar ainda, em sua explicação da continuação do movimento violento, a necessidade do contato do corpo com o meio que está imerso. Como veremos, esta ideia será interpretada como a necessidade da ação de uma força no corpo para manter seu movimento. Este será o ponto de partida de Buridan para criticá-la e modificá-la, dando sua própria interpretação, inserindo um conceito que denominou de *impetus* (ímpeto).

A primeira parte do livro VIII, de Aristóteles, tem por objetivo provar que o movimento sempre existiu e sempre existirá, apresentando uma espécie de natureza constante no macrocosmos.

*O movimento, dizemos, é a capacidade do móvel enquanto movido. É necessário, então, que existam coisas que podem mover-se segundo cada movimento. Mesmo deixando de lado a definição de movimento, todos admitiriam que, para que algo se mova, é desnecessário que possa se mover segundo cada movimento particular; assim, para que algo seja alterado deve ser alterável, para que seja deslocado, deve ser capaz de modificar sua posição [...] E sem dúvida será necessário que estas coisas tenham sido criadas em algum tempo, antes da qual não existiam ou seriam eternas<sup>8</sup>.*

No entanto, o movimento sempre dependerá das ações de um corpo sobre o outro, existindo causas ou processos de interação que o corpo deveria passar durante seu deslocamento, sendo que, esta causa primária também deverá ter sofrido um processo de modificação em seu estado. Assim, o motor que move o corpo sofre também um movimento. Agora, se cada uma das coisas móveis tiveram um início, então, com anterioridade a este movimento, deverá ter existido outra modificação ou movimento, aquele para o qual foi gerado, que pode ser movido ou mover.

*E supor que tais coisas tenham existido sempre com anterioridade ao movimento parece uma suposição absurda, por pouco que seja considerada, e parecerá, todavia, mais absurda conforme avançamos no nosso exame. Pois se, entre as coisas móveis e motrizes, supomos que em algum tempo, uma seja a primeira que move, e a outra, a primeira a ser movida, no entanto, em outro tempo (anterior) não existe, se não, o repouso, então será necessário que exista uma modificação anterior ao repouso, já que o repouso é a privação do movimento. Por conseguinte, deverá haver uma modificação anterior à primeira modificação<sup>9</sup>.*

Para Aristóteles sempre haverá um processo de modificação anterior ao primeiro, o que gerou movimento também deve ter sido movido, e assim por diante. Mas ele se questiona quanto à possibilidade da existência desses processos de modificação sem a existência relacional com o tempo, tentando provar a existência eterna do movimento, fazendo a sua relação temporal. Sua lógica é baseada no seguinte princípio: a) como poderia existir um antes e um depois se não existisse o tempo? b) como poderia existir o tempo se não existisse movimento? c) porque se o tempo é o número do movimento, ou ainda, um tipo de movimento, e se sempre existiu tempo, então, d) é necessário que o movimento seja eterno.

Desta maneira, o movimento, segundo Aristóteles, não pôde ter um devir, pois implicaria a existência de um processo de modificação ao primeiro ato que o gerou. Aqui podemos inferir a possibilidade da gênese de um pensamento sobre a constância do movimento em meio as suas modificações, principalmente no que diz respeito a sua conservação. Esta conservação do movimento é pensada não com os significados que atribuímos hoje, mas de uma forma primitiva, principalmente no que diz respeito à interação entre dois corpos, quando esta existe, há um processo de modificação de ambas as partes, cujo pensamento resultou em um modelo de conservação (não que Aristóteles tenha tido esta intensão). Isso, de fato, pode ser melhor observado na seguinte citação:

*O mesmo raciocínio pode ser feito sobre a indestrutibilidade do movimento, pois, assim como na geração do movimento se mostrou ter havido uma modificação anterior à primeira modificação, assim também, neste caso, terá uma modificação posterior à última modificação; pois uma coisa não cessa simultaneamente de ser movida e de ser móvel, como não cessa de ser queimada e de ser passível de ser queimada [...], nem quando uma coisa cessa de ser movente tem que cessar, ao mesmo tempo, de ser motriz [...] Mas se esta consequência é impossível, é claro que o movimento é eterno, e que não pode ter existido em um tempo e não em outro, o que parece ser algo mais do que fantástico<sup>10</sup>.*

258

Na quarta parte desta mesma obra, Aristóteles explica que existem dois tipos de movimento: o natural e o violento. O movimento natural seria pertencente as coisas que se movem por si mesmas, e o movimento violento, contrário ao primeiro, teria a necessidade da ação de um outro corpo. Ou ainda, quando o corpo está em movimento em sentido oposto ao que propriamente ocuparia, é considerado violento; se o corpo está em movimento até o seu lugar próprio, é denominado de natural. Por exemplo, explica que quando o fogo ou a terra são movidos por algo<sup>11</sup>, o movimento é violento quando é contrário à natureza, e natural, quando estando em potência, são levados até seus próprios atos. Sendo o movimento natural do fogo para cima, o da terra para baixo, se invertermos o sentido do movimento, ou seja, fazer com que o fogo se mova para baixo e a terra para cima, esse deve ser considerado violento, ou contra a natureza.

No caso do movimento natural dos corpos elementares, uma dificuldade é encontrada, pois o movimento tem que ter uma causa externa, dessa forma, Aristóteles utiliza o esquema potência/ato a título explicativo. Um corpo em potência é um corpo que tende a se modificar, e uma coisa em ato é algo que já está realizado. Um ser em potência só pode tornar-se um ser em ato mediante algum movimento. E este movimento vai sempre da potência ao ato. No entanto, essa potência não se manifesta espontaneamente em ato, deve-se ter uma influência externa capaz de realizar a mudança, a qual Aristóteles denominou de *causa eficiente*. Então, todas as coisas em movimento devem obrigatoriamente ser movidas por algo.

No caso do movimento, a *causa eficiente* seria uma espécie de motor. Um corpo passa de um estado natural de repouso para um estado de movimento por meio do motor. Assim, qualquer movimento necessitaria de uma força

externa agindo sobre o corpo de forma contínua, ou seja, durante todo o movimento; força que tem sua origem no ar, ou em qualquer outra substância que o corpo esteja imerso. Isso pode ser melhor explicado com a seguinte citação, a qual será motivo de muita crítica:

*Se tudo o que está em movimento é movido por algo, como algumas coisas que não movem a si mesmas, como os projéteis, continuam movendo-se quando o movente já não está em contato com elas? Se dissermos que em tais casos o movente move ao mesmo tempo outra coisa, como o ar, e que este ao ser movido também se move, então seria igualmente impossível que o ar continue em movimento sem que o movente originário esteja em contato e o mova, pois todas as coisas movidas deveriam estar em movimento e deixar de estar quando o primeiro movente deixe de movê-las, mesmo ainda que o movente mova, como a pedra magnética, que faz com que o movido também se mova. Portanto, sobre isto deve ser dito o seguinte: que o que primeiro tem movido faça com que também mova o ar ou a água ou qualquer outra coisa que por natureza possa mover a outra ou ser movida por outra; mas não deixam de mover e serem movidas ao mesmo tempo, porque ainda deixam de ser movidas quando o movente deixa de movê-las, podem, porém, continuar em movimento; e por isso pode ser movida outra coisa que está em contiguidade com elas, e dessa se pode dizer o mesmo. No entanto, começa a deixar de se mover quando diminui a força motriz transmitida as coisas que estão em contiguidade, e cessa finalmente de se mover quando o movente anterior já não é mais movente, senão, somente movido. E então o movimento de ambos, o do último movente e da coisa movida, têm que cessar simultaneamente, e com ele o movimento total<sup>12</sup>.*

Desta forma, Aristóteles havia estabelecido o princípio de que o corpo mantém seu movimento apenas enquanto houver uma força externa nele atuando, cessada a força externa o corpo retornaria ao seu estado natural de repouso.

Segundo Echandía<sup>13</sup>, existem duas formulações distintas para a continuação do movimento de um projétil, dado por Aristóteles. A primeira está relacionada à virtude ou força cinética transmitida pelo movente ao meio que o projétil se move. A segunda consiste em admitir que esta virtude é transmitida do movente ao próprio projétil. A primeira ideia foi desenvolvida, e em parte modificada, pelo neoplatônico Simplício; e a segunda foi desenvolvida, principalmente, por Filopono no conceito de *virtus impressa*, e por João Buridan no conceito de *impetus*.

259

Ainda, Aristóteles não acreditava na existência do movimento no vácuo, e esta ideia exerceu muita influência em sua concepção. Ele explica o movimento como tendo a necessidade da existência de uma força atuando no corpo durante todo o percurso. Podemos verificar tal afirmação sobre a impossibilidade de movimento no vácuo, nas palavras de Aristóteles, quando, no livro IV de sua obra *Física*, salienta:

*Dizem que o vácuo deva existir, sendo necessário para que exista movimento; mas o que parece, se estudarmos o assunto, é o oposto: que nenhuma coisa pode se mover se existe um vácuo; para como aqueles, que por uma razão parecida, dizem que a Terra está em repouso, assim, também, no vácuo as coisas devem estar paradas; pois não há lugar para onde as coisas possam se mover mais ou menos do que para outro; pois o vácuo, sendo vazio, não possui diferenças<sup>14</sup>.*

Dessa forma, propõe que o movimento dos projéteis se dê pela ação do ar circundante (ou qualquer outro meio em que o corpo que se movimenta está imerso) que recebe do projetante a capacidade de manter o projétil em movimento. Ele vê a necessidade de algo acompanhar o movimento do corpo, e neste caso propõe a existência ininterrupta da força durante a projeção do corpo no ar, na verdade, esta força é a ação do ar sobre o corpo. Nasce aqui a ideia de que algo deva acompanhar este movimento, e não só acompanhar como estar presente, atuando no corpo.

Esta é uma ideia importante neste momento da história, da qual acreditamos ser a gênese da teoria do ímpeto, pois inicia-se a ideia de que algo deva acompanhar o movimento de um corpo, algo que será desenvolvido em uma causa imanente (interna) do movimento. Em Aristóteles percebemos que a causa ainda não é interna ao corpo, essa deve ser explicada como a ação do ar sobre o projétil. Este pensamento se desenvolve em ideias importantes, por meio dos questionamentos em relação à obra aristotélica, como por exemplo, o conceito de *virtus impressa* com Filopono,

*mail* com Avicenna, *virtus derelicta* com Francesco di Marchia, e finalmente, o *impetus* com Buridan. Ao longo da história esses conceitos se desenvolveram nas ideias de quantidade de movimento e energia cinética.

A explicação que Aristóteles deu para o movimento começa a ser questionada, pois para esta explicação haviam dois obstáculos, ou melhor, duas ideias que de certa forma eram contraditórias. Segundo Mariconda<sup>15</sup>, a primeira delas está relacionada ao fato de existir uma impossibilidade de um corpo pesado ser movido pela ação do ar. O segundo pensamento contraditório ao aristotélico faz referência ao papel do ar no movimento de um corpo, o de dar movimento ao corpo (motor do movimento), e ao mesmo tempo, o de tirar movimento do corpo (opositor do movimento).

Ter essa concepção seria muito difícil para Aristóteles, uma vez que não imaginava a existência do vazio. Quando um corpo está em movimento deve ocupar o lugar do ar que está a sua frente, e este deve ocupar a posição anterior do corpo, não deixando espaços vazios. Assim, o ar, ocupando a posição anterior do corpo, o empurraria mais adiante, atribuindo-lhe movimento. Essa ação do ar sobre o corpo seria cada vez menos intensa, quando, de uma forma repentina, tanto o movimento do ar como o movimento do projétil cessariam simultaneamente.

Essa era sua explicação, e como se pode notar, Aristóteles imagina o ar tendo o papel principal no movimento de um projétil, sem o ar, ou outro fluido, não haveria possibilidade do projétil se mover.

Em síntese, Aristóteles parece descrever duas diferentes teorias, que implicam sempre na presença do ar como motor contínuo do movimento:

1. O ar realiza a continuidade do movimento do projétil por uma espécie de mútua substituição, de modo que o ar se posicione circularmente atrás dele para agir como um motor; teoria conhecida como *antiperístase*;
2. O ar não somente é colocado em movimento diretamente pelo motor originário, mas, graças a sua natureza especial, recebe simultaneamente o poder ou a força para agir como um motor, então, por este poder, se move juntamente com o projétil, o ar junto com o ar que é movido na origem do movimento, não só é movido, mas recebe o poder de agir como motor, assim o projétil é empurrado na direção para a qual se movia o motor originário.

Esta concepção teve uma duração de mais ou menos dez séculos, quando João Filopono e outros trouxeram fortes argumentos contra a ideia aristotélica que, de certa forma, romperam com a necessidade do ar no movimento do corpo, época na qual, se desenvolveram os conceitos, já mencionados, como *virtus impressa*, *mail* e *impetus*.

Podemos individualizar diversas correntes para a solução do problema do movimento dos projéteis que refutam, principalmente, a concepção aristotélica<sup>16</sup>:

1. A primeira corrente elabora toda uma série de argumentações em apoio de uma teoria segundo a qual o motor originário imprime no projétil uma força que é a principal continuação de seu movimento. Este tipo de força impressa é temporária e se acaba pela resistência do ar ou por si mesma. O principal expoente desta corrente na primeira parte do século VI é João Filopono, e no século XIII, Francesco di Marchia.
2. A segunda consiste em uma vigorosa refutação nominalista desta doutrina, bem como da opinião de Aristóteles da transmissão de uma potência do motor ao meio. Esta refutação, tem como principal expoente Guglielmo Occam, que reduz o movimento (incluindo o movimento do projétil) a ocupação de uma série de posições sucessivas da parte do corpo, e não vê a necessidade de estabelecer uma causa ulterior para o movimento do projétil.
3. Uma terceira opinião – aquela de João Buridan – modifica a concepção da força impressa, exposta no ponto (1) refutando o caráter transitório e criando uma qualidade permanente denominada *impetus*, a qual, além disso, obtém uma rudimentar quantificação, seja em relação a matéria do projétil, seja em relação a velocidade comunicada.

4. A última tendência geral é caracterizada por uma alteração do *impetus*, que se torna transitório ou não permanente com a adicional confusão sobre o quesito se isso produz movimento uniforme ou acelerado. A figura mais importante desta última corrente é o discípulo de Buridan, Nicola Oresme.

## Sobre João Buridan

Foi um filósofo medieval e padre secular, provavelmente nascido em Béthune, no ano de 1300. Foi fundador de uma escola de mecânica em Paris, e seu principal interesse era concernente aos fenômenos relacionados à dinâmica<sup>17</sup>. Inspirado nas obras desses autores citados anteriormente, na ideia de movimento aristotélica e principalmente na ideia de *virtus* impressa, João Buridan elaborou sua teoria conhecida como teoria do ímpeto, a qual explicava o movimento de projéteis, em movimentos forçados e em queda livre. Esta teoria serviu como base para os trabalhos subsequentes, como a dinâmica de Galileu Galilei e o princípio da inércia de Isaac Newton, bem como para a ideia de quantidade de movimento de René Descartes e a ideia de *vis viva* de Leibniz.

Suas obras mais importantes foram *Questões sobre De Caelo* de Aristóteles e seus escritos sobre a *Física*, datados, frequentemente pelos historiadores da ciência, pelo ano de 1340, ou ainda antes<sup>18</sup>.

Buridan, por meio de experimentos ideais desenvolveu uma crítica à ideia de movimento aristotélica sobre o qual o ar impulsiona o corpo. Em sua obra *Subtilissime questiones super octo Phisicorum libros Aristotelis* (Questões sobre o oitavo livro da Física de Aristóteles), e que, de acordo com Clagett, muito provavelmente, foi composto no ano de 1357, investiga a possibilidade de um projétil, ao deixar a mão do lançador, ser movido pelo ar, como afirmava Aristóteles e, não sendo o ar o agente do movimento, investiga o que poderia realmente mover este corpo em um determinado meio. Uma provável data para a morte de Buridan, devido a peste, é ano de 1358, mas não existe nenhum documento que sustente essa tese, e nem mesmo do ano de seu nascimento<sup>19</sup>.

Apresentamos uma tradução para o português de um trecho da obra mencionada de Buridan, cuja versão original em latim se encontra no livro *The Science of Mechanics in the Middle Ages*<sup>20</sup> de Marshall Clagett, originalmente publicada no ano de 1959<sup>21</sup>. Para tanto Clagett utilizou uma edição de Paris de 1509 com modificações introduzidas por A. Maier, *Zwei Grundprobleme der scholastischen Naturphilosophie*, terceira edição, Roma 1968, páginas 207 à 214.

## Tradução: *Questões sobre o oitavo livro da física de Aristóteles*

1. Livro VIII, questão 12. Artigo décimo segundo, pergunta-se, se o projétil, uma vez que se desprende da mão do projetante, seja movido pelo ar, ou por qual razão seja movido. Se demonstra que não é movido pelo ar, pois este, devendo ser dividido, parece resistir muito [ao movimento]; além disso, se diria que o projetante moveria em princípio tanto o projétil como o ar nesse contíguo, e que aquele ar movido causa o movimento do projétil até uma certa distância, reaparecerá a dúvida sobre que coisa move aquele ar uma vez que o projetante tenha cessado de se mover. A dificuldade é, neste caso, tão grande como para o movimento da pedra jogada<sup>22</sup>.

No livro VIII da presente obra, Aristóteles mantém a opinião oposta: “os projéteis continuam a se mover uma vez que os projetantes não estão mais em contato com esses, ou por *antiperistasi*, como alguns dizem, ou pelo fato de que o ar impulsionado empurra com movimento mais rápido que o movimento cujo projétil se moveria para o próprio lugar”. Ele determina a mesma coisa no livro VII dessa mesma obra, no livro VIII e no livro III de *De Caelo*.

2. A presente questão é a meu julgamento muito difícil, pois me parece que Aristóteles não a tenha resolvido bem. Aristóteles forneceu duas opiniões. A primeira é aquela que denomina por *antiperístase*, segundo esta opinião

o projétil sai velozmente do lugar no qual se encontrava, e a natureza, não permitindo o vácuo, envia rapidamente o ar para trás [do projétil] para preencher [o local deixado livre]; este ar, movido rapidamente, vindo em contato com o projétil, o empurra para frente, e assim continuamente, até uma certa distância. Mas, apesar de tal solução [de Aristóteles], parece-me que este modo de colocar a questão não é válido por conta de muitas experiências contraditórias.

A primeira diz respeito ao pião<sup>23</sup> e ao amolador do ferreiro<sup>24</sup>, os quais se movem por muito tempo e não saem do lugar [dele ocupado]; por isso não existe a necessidade do ar os seguirem para ocupar o lugar por eles abandonados. Por isso não se pode afirmar [que eles sejam movidos pelo ar] desta maneira.

A segunda experiência é aquela de uma lança que tem na parte de trás uma ponta tão aguda quanto àquela da frente; uma vez arremessada, a lança não se moverá menos do que se não tivesse a ponta posterior aguda, e ainda, o ar que a segue não poderia empurrá-la, pois seria facilmente dividido por sua agudeza.

A terceira experiência diz respeito a um navio impulsionado velozmente por um rio, ainda que contra a corrente, não poderia parar bruscamente, mas continua a mover-se por muito tempo mesmo depois que tenha sido cessado o impulso; e, no entanto, um marinheiro em pé no convés não sente o ar atrás que o empurra, mas somente o ar da frente que o resiste. E ainda, se o mencionado navio fosse carregado de feno ou de lenha, e o homem se encontrasse atrás da carga e contígua a ela, se o ar tivesse tanto ímpeto de poder empurrar com tanta força o navio, aquele homem seria violentamente comprimido entre a carga e o ar, coisa que é revelada falsa pela experiência; ou ao menos, se a embarcação fosse carregada de feno ou de palha, o ar que a segue e a empurra dobraria os galhos que se encontrassem na parte de trás, mas mesmo isso é de tudo falso.

3. Outra opinião, que Aristóteles parece aprovar, é que o projetante move junto ao projétil o ar que lhe é contíguo, e aquele ar, movido velozmente, tem a virtude de mover aquele projétil, não no sentido que o mesmo ar o mova do lugar de projeção até o lugar no qual o projétil para, mas no sentido que o ar conjunto ao projetante é movido pelo mesmo projetante, e a sua volta move outro ar vizinho a si, e ainda aquele outro até uma certa distância. O primeiro ar move, portanto, o projétil até o segundo ar, e o segundo o move até o terceiro, e assim por diante. Por isso Aristóteles disse que não há uma única causa, mas muitas que se interveem sucessivamente. Por isso ainda Aristóteles disse que o movimento não é contínuo, mas consequência de muitos sucessivos ou contíguos.

Mas esta opinião e este método me parecem tão impossíveis pelas opiniões e pelos métodos procedentes. Desta maneira não se poderia, de fato, dizer como se faz girar o pião ou o amolador do ferreiro uma vez que já não estão em contato com a mão, pois se tivesse separado o ar em torno da roda, coberta por uma lona, não seria por isso que a roda cessaria seu movimento, mas continuaria a mover-se por muito tempo, e, portanto, não é este ar que a faz mover.

Similarmente uma embarcação impulsionada rapidamente continua a se mover quando cessada a tração, e não é o ar circundante que a move, pois se fosse coberta por uma lona, e se tirasse a lona com o ar que a circunda, não por isso a embarcação cessaria seu movimento, e além disso se a embarcação fosse carregada de feno ou de palha e fosse movida pelo ar circundante, então aquele ar dobraria os galhos que se encontrassem externamente em direção a proa do barco, e ao invés, parece o contrário, pois eles são de fato dobrados para trás devido à resistência do ar circundante.

Por outro lado, o ar, por mais rápido que se mova, é facilmente divisível; não se vê, portanto, como pode sustentar uma massa pesada de mil libras arremessada por um estilingue ou por uma máquina.

Além disso, com a mesma velocidade, ou ainda mais rápido, você poderia mover o ar próximo com a tua mão, estando ela vazia ou segurando uma pedra que pode ser lançada. Se, portanto, aquele ar possui um ímpeto, graças a velocidade de seu movimento, tal que possa fazer mover rapidamente aquela pedra, parece que se eu empurrasse o ar para você com a mesma velocidade, aquele ar deveria te empurrar impetuosamente e com uma notável força, e [todavia, ainda se fizéssemos isso] não teríamos nenhum efeito sensível.

Segue, além disso, que se quisesse projetar mais longe uma pena do que uma pedra, um objeto menos grave mais longe que um mais grave de mesma grandeza e forma, mas a experiência revela que isto é falso. A conclusão é



clara, pois em tal caso o ar colocado em movimento sustentaria, transportaria ou moveria mais facilmente uma pena do que uma pedra, e um objeto mais leve do que um mais pesado...

4. Podemos, portanto, e devemos dizer que à pedra ou a um outro corpo que vem impressa uma tal coisa, a qual é a virtude motriz daquele projétil, e isso parece melhor que recorrer a ação do ar para fazer mover o projétil. Ao invés, parece resistir. Acho, por isso, que se deva dizer que o motor, movendo o móvel, lhe imprima um ímpeto ou uma certa virtude motriz<sup>25</sup> no projétil na direção na qual o motor o moveu, seja para o auto, seja para baixo, seja lateralmente, seja em círculo, e quanto mais rapidamente o motor move aquele móvel, tanto mais forte ímpeto lhe imprimirá. E por esse ímpeto é movida a pedra após o motor ter cessado de movê-la. Mas por causa da resistência do ar e da gravidade da pedra, que a inclina em uma direção contrária àquela para a qual o ímpeto a move, o ímpeto se enfraquece de forma contínua. Por isso o movimento desta pedra se torna sempre mais lento até que ímpeto se consome e se corrompe a tal ponto que a gravidade, agindo na pedra, a move para baixo, ao seu lugar natural<sup>26</sup>.

Este modo me parece mais aceitável, seja porque os outros tipos de explicação não parecem reais, seja ainda, porque a isso se concordam todos os fenômenos.

5. E se alguém perguntar por que projeto mais longe uma pedra e não uma pena, ou um pedaço de ferro ou chumbo bem adaptado à mão do que um pedaço de lenha, dirá que a causa disto reside no fato de que a recessão de todas as formas e disposições naturais se faz na matéria e em razão da matéria; por isso *quanto mais um corpo tem matéria, tanto mais, e mais intensamente, pode receber aquele ímpeto*. Agora, um [corpo] denso e grave, em relação ao restante, tem mais matéria prima do que um menos denso e leve; por isso o denso e grave recebe mais daquele ímpeto, e mais intensamente, como acontece também com o ferro que recebe mais calor que uma quantidade igual de lenha ou de água. Uma pena recebe tal ímpeto de modo fraco que logo se é consumido pela resistência do ar; e assim acontece que se uma leve lenha e um pesado ferro, tomados na mesma quantidade e dotados da mesma forma, venham movidos com igual velocidade por um projetante, o ferro chegará mais longe, pois nele se imprime um ímpeto mais intenso, que não se corrompe rapidamente como se corromperia um ímpeto mais fraco. E esta é também a causa pela qual é mais difícil reduzir ao repouso um grande moinho de ferreiro movida velozmente em relação a um pequeno, de fato, no grande, relativamente ao restante, tem mais ímpeto. E pelo mesmo motivo se poderia projetar mais longe uma pedra de uma libra ou de meia libra do que uma milésima parte da mesma. De fato, o ímpeto comunicado àquela milésima parte é tão pequeno que vem rapidamente oprimido pela resistência do ar<sup>27</sup>.

6. Por isso se explica também porque o movimento natural de um grave para baixo se acelera continuamente; pois, em princípio, movia somente [pela] a gravidade, e por isso se movia mais lentamente, mas movendo, imprimia ao mesmo grave, um ímpeto, o qual se move agora junto a gravidade, e por isso o movimento se faz mais rápido, e quanto mais rápido se torna, tanto mais intenso se faz o ímpeto, e por isso o movimento parece continuamente acelerar-se.

E aquele que quer fazer um longo salto retrocede para pegar impulso, e correndo conquista o ímpeto, que no salto, o leva para uma distância maior, e assim, correndo e saltando não percebe o ar que o moveria, mas sente a frente o ar que o resiste fortemente.

Além disso, não aparecendo na Bíblia que existam inteligências encarregadas de mover os corpos celestes, se poderia dizer que não se vê a necessidade de colocar tais inteligências, pois se poderia sustentar que Deus, quando criou o mundo, moveu todas as orbitas celestes como quis, e as movendo, imprimiu nestas um ímpeto que continuasse o movimento sem necessidade de seu ulterior interventor, se não, no sentido de uma influência geral, como ele contribui como coagente em todas as coisas que são realizadas. Assim, de fato, no sétimo dia se repousou de cada obra que havia feito, confiando a outros a ação e as paixões uns aos outros. E aqueles ímpetos impressos nos corpos celestes não se enfraqueciam nem se corrompiam, não existindo nos corpos celestes uma inclinação a outros movimentos, nem existindo nesses uma resistência corruptiva ou repressiva daquele ímpeto<sup>28</sup>. Mas isto não digo alegadamente, mas peço aos senhores teólogos que me ensinem de que modo estas coisas podem acontecer..

7. A primeira [conclusão] é que aquele ímpeto não é o movimento local do qual o projétil se move, pois aquele ímpeto move o projétil, e o movente produz o movimento; portanto, o ímpeto produz aquele movimento, e uma coisa não pode produzir a si mesma, portanto etc. Similarmente, existindo cada movimento produzido por um motor presente e existente junto com o que se move, se aquele ímpeto fosse o movimento, necessitaria atribuir um outro motor do qual fosse produzido aquele movimento, e se representaria a dificuldade principal; por isso imaginar tal ímpeto não seria útil. Mas alguns podem fazer objeções dizendo que a primeira parte do movimento que produz a projeção causa a segunda parte do movimento e essa imediatamente a sucessiva, e esta causa uma outra e assim vai até a cessação do movimento total. Mas isso não é provável, pois quem faz uma coisa deve estar presente quando ela é feita, mas a primeira parte do movimento não existe quando existe a posterior, como em outra ocasião se dizia, portanto, a primeira não existe quando a posterior é feita. E esta conclusão é clara, disto que se disse em outros lugares, ou seja, que o movimento não é outro que um “ser produzido” e um “corrupto”; por isso o movimento não é quando foi causado, mas quando vem causado.

8. A segunda conclusão é que o ímpeto não é uma coisa puramente sucessiva, pois uma tal coisa é movida, e a essa convém a definição de movimento, como foi dito em outros lugares, e há pouco tempo se disse que o ímpeto não se identifica com aquele movimento local. Além disso, porque uma coisa puramente sucessiva se corrompe e vem produzida continuamente, tem necessidade continuamente de uma causa que a produza, e não se poderia atribuir uma causa para este ímpeto que estivesse junto a ele.

9. A terceira conclusão é que o ímpeto é uma coisa de natureza permanente, distinta do movimento local com o qual aquele projétil se move. Isso manifesta-se pelas duas preditas conclusões e por quanto se é dito precedentemente. E é provável que aquele ímpeto seja uma qualidade inata a mover o corpo ao qual foi impresso, assim como se diz que uma qualidade impressa no ferro pelo imã, move o ferro até o imã. E é também verossímil que como aquela qualidade vem impressa no móvel pelo motor junto com o movimento, assim essa vem enfraquecida, corrupta ou impedida com o mesmo movimento por uma resistência ou uma tendência contrária.

264

10. E como um corpo luminoso que gera luz por reflexão na presença de um obstáculo, assim também aquele ímpeto na presença de um obstáculo produz movimento por reflexão. É verdade, todavia, que a uma reflexão maior e sob maior distância outras causas contribuem com aquele ímpeto; por exemplo, uma bola, a qual a jogamos com a palma da mão, caindo para a terra quica mais alto que uma pedra, pois a pedra cai na terra com mais velocidade e com maior ímpeto, e isso acontece, pois muitas coisas são flexíveis ou em si comprimíveis por violência e possuem a propriedade inata de retornar a justa posição a esse conveniente, e reconquistando suas formas podem empurrar ou puxar com ímpeto qualquer coisa que esteja à esta conjunta, como acontece no caso do arco. Assim, portanto, uma bola jogada para a dura terra, se comprime sobre si mesma pelo ímpeto de seu movimento, e imediatamente após o choque retorna rapidamente a sua esfericidade, retornando para o alto, e por esta elevação conquista um ímpeto que a move para o alto por uma longa distância. Assim também uma corda de cítara fortemente tocada e percutida vibra por um longo período de tempo, e por esta vibração se origina um som que se mantém por um tempo notável, e isto acontece, pois, do choque vem curvada rapidamente com violência até uma parte e por isso retorna rapidamente a sua posição reta de partida; mas pelo ímpeto concebido vai além da posição retilínea encurvando-se até a parte contrária, e assim, mais uma vez, retorna, e similarmente [isso ocorre] muitas vezes. Por uma causa símile um sino, depois que é cessado de puxar a corda, continua a mover-se de um lado para outro, e não pode retornar facilmente e rapidamente ao repouso<sup>29</sup>.

Quanto ao precedente, seja dito a proposito desta questão, e ficaria satisfeito se alguém encontrasse um caminho mais provável. E assim eu termino.

## Notas e referências bibliográficas

Alex Lino é professor do Instituto Federal de São Paulo, campus Caraguatatuba. E-mail: alex.lino@ifsp.edu.br

Marcos Cesar Danhoni Neves é professor da Universidade Estadual de Maringá, UEM. E-mail: macedane@yahoo.com

- 1 DAMASIO, Felipe; PEDUZZI, Luiz O. História e filosofia da ciência na educação científica: para quê? *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 19, p.1-19, 2017.
- 2 Idem.
- 3 SILVA, Cibelle Celestino (Org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências*. São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. 10.
- 4 SILVA, op. cit., 2006.
- 5 Renè Descartes definiu o conceito de quantidade de movimento em sua obra *Princípios de Filosofia, publicada em 1644*, como uma grandeza proporcional ao produto entre a massa e a velocidade do corpo. Descartes ainda propôs que esta grandeza fosse conservada nas colisões, no entanto, com um tratamento puramente escalar, não levava em consideração suas propriedades vetoriais.
- 6 Na verdade Leibniz propôs, em 1686, em sua obra *Breve demonstração do memorável erro de Descartes e outros sobre a lei natural, pela qual querem que a quantidade de movimento seja conservada por Deus sempre igual, a qual usam incorretamente na mecânica*, a existência de uma grandeza denominada *força viva*, que seria definida como o produto entre a massa e a velocidade ao quadrado. Esta ideia inicial de Leibniz se desenvolveu no conceito de energia cinética na década de 1840.
- 7 LINDSAY, R. Bruce. *Energy: Historical Development of the concept*. Stroudsburg, Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross, 1975.
- 8 ARISTÓTELES. *Física*. Tradução e notas: Guillermo R. de Echandía. Madrid: Editorial Gredos, 1995, p. 270. (tradução nossa).
- 9 Idem.
- 10 Idem.
- 11 Aqui o pensamento é baseado nas esferas dos quatro elementos que constituem o mundo sublunar aristotélico. Terra, água, ar e fogo formariam, nessa ordem, este mundo. Simplificadamente, segundo esta ideia, um corpo tende a se mover espontaneamente à esfera do elemento que o constitui em maior intensidade.
- 12 ARISTÓTELES, op. cit., 1995, p. 318-319. (tradução nossa).
- 13 ARISTÓTELES, op. cit., 1995. (tradução nossa).
- 14 ARISTÓTELES, op. cit., 1995, p. 318-319. (tradução nossa).
- 15 GALILEI, Galileu. *Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo ptolomaico e copernicano*. Tradução, introdução e notas: Pablo Rubén Mariconda. 3. ed. São Paulo: Editora 34, 2011.
- 16 CLAGETT, Marshall. *La Scienza della Meccanica nel Medioevo*. Traduzione dagli originali in lingua inglese e in lingua latina di Libero Sosio. 2. ed. Milano: Giangiacomo Feltrinelli, 1981.
- 17 Idem.
- 18 Idem.
- 19 Idem.
- 20 Para o trabalho de tradução, consultamos, além da versão em latim, uma versão em inglês, em *The Science of Mechanics in the middle ages* (ver citação [21]), e uma versão em italiano, em *La Scienza della Meccanica nel Medioevo* (ver citação [16]). A versão em latim, edição de Paris de 1509, se encontra em ambas as versões consultadas de Clagett (1959, 1981).
- 21 CLAGETT, Marshall. *The Science of Mechanics in the middle ages*. Madison: University of Wisconsin Press, 1959.
- 22 Podemos notar, após a leitura do questionamento de Buridan, que ele dá ao ar o papel de resistir o movimento de um projétil e não o de atribuir movimento. Na tentativa de provar sua ideia em discordância ao pensamento aristotélico, recorre a três exemplos de movimento, os quais rejeitam definitivamente a possibilidade de *antiperistases* no movimento de um corpo.
- 23 *Troco* em latim.
- 24 *Mola fabri* em latim.
- 25 Em latim *vim motivam*.
- 26 Assim, de acordo com a teoria de Buridan, o projetante transfere ao projétil uma espécie de qualidade, que se entende como permanente no movimento do corpo, o *impetus*, que é responsável pela continuação do movimento e que é reduzido devido à resistência que o meio oferece a passagem do corpo. Buridan associa a gravidade do corpo como algo que provoca resistência, similarmente ao meio circundante. Podemos notar ainda, a discordância definitiva a ideia aristotélica, pois dá ao ar o papel de resistir o movimento e não de fornecer movimento ao corpo, uma vez que o responsável por atribuir movimento ao corpo é o projetante, aquele que imprime o *impetus* inicial.
- 27 Agora, podemos destacar alguns aspectos importantes em sua teoria: (1) o projetante imprime ao corpo a ser lançado determinada força motriz (*vis motora*) ou ímpeto (*impetum*) na direção em que ele é movido; (2) quanto maior for o ímpeto cedido ao corpo, mais rápido esse corpo se moverá; (3) o ar diminui o ímpeto do projétil; (4) a gravidade do corpo provoca diminuição do ímpeto; e (5) quanto maior for a quantidade de matéria ou densidade do corpo, maior será o ímpeto adquirido.
- 28 Como Avicenna e Francesco di Marchia, Buridan concebeu o ímpeto como uma qualidade permanente (embora, obviamente destrutível por agentes contrários); como tal, o seu ímpeto não é consumido simplesmente pelo fato de ser separado da origem do movimento, mas deve ser superado pela resistência do ar e da contrária tendência ao corpo. Se diz explicitamente que o ímpeto duraria para sempre se não existissem os agentes contrários (os quais, obviamente estão presentes no mundo elementar); ele diz, de fato, que o ímpeto duraria ao infinito se não fosse diminuído e corrompido por

uma resistência contrária. O caráter de permanência que Buridan deu ao seu ímpeto se rende plausível, aos seus olhos, a explicação da eternidade do movimento dos céus mediante uma imposição divina de um ímpeto na época da criação do mundo. O recurso dado ao ímpeto para explicar a persistência do movimento dos céus é o ponto no qual Buridan se aproxima muito da ideia inercial da mecânica newtoniana.

- 29 Podemos dizer que esse argumento de Buridan tende a um princípio de conservação. Aqui ele tenta explicar porque um corpo quando colide com o chão retorna próximo ao ponto de partida por conta da aquisição de um novo ímpeto. É claro que nada diz a respeito da conservação desse ímpeto, e de fato ele não se conserva. A teoria do ímpeto viria a ser utilizada por Galileu para explicar o movimento de um pêndulo e de um corpo em um plano inclinado. Neste contexto Galileu forneceu a ideia de que algo deveria ser conservado no movimento para que o pêndulo, quando solto de uma determinada altura, tivesse ímpeto suficiente para retomar a altura inicial. Não estamos dizendo que é o ímpeto a grandeza a ser conservada no movimento, nem Galileu ou Buridan fizeram tal afirmação, mas queremos mostrar que a partir da teoria do ímpeto, como uma grandeza intrínseca ao corpo, as discussões se retomaram na direção do desenvolvimento de um princípio de conservação. A partir do conceito de ímpeto e da cinemática de Galileu, Leibniz e Descartes desenvolveram os conceitos de força viva e momento linear, grandezas que se fundamentaram a partir da discussão de qual “força” deveria ser conservada na natureza, uma verdadeira disputa conceitual ocorreu neste momento da história. Foi partir do conceito de força viva de Leibniz e dos princípios de conservação das, até então denominadas, “forças” (no sentido de energia) que ocorreu o desenvolvimento do princípio de conservação da energia na década de 1840 com Mayer, Joule, Colding e Helmholtz.