

# A Metafísica e a Física de Aristóteles

ANTONY MARCO MOTA POLITO\*

Universidade de Brasília

## Resumo

*Embora seja inegável que o patamar atual de desenvolvimento da ciência não tenha sido jamais igualado em qualquer período da história humana, somos herdeiros e sucessores de uma tradição ainda bastante jovem, cujos trezentos a quatrocentos anos empalidecem quando comparados aos vinte séculos de sobrevivência do sistema aristotélico. Nesse breve artigo de revisão, traçamos um esboço do que foram as vigas e os pilares desse edifício cuja destruição, pelas mãos de homens como Galileu e Descartes, foi uma das mais difíceis e profundas revoluções pelas quais o pensamento ocidental teve que passar, forjando seu caráter atual na exata medida da contraposição ao bem-sucedido sistema que forneceu um esquema quase completo de inteligibilidade dos fenômenos naturais dos universos da Antiguidade e da Idade Média.*

Palavras-chave: Ontologia aristotélica, Cosmologia aristotélica, Lugar natural, Movimento natural, Movimento violento.

## INTRODUÇÃO

A história da ciência ou, mais apropriadamente, do pensamento filosófico naturalista, teve início na Antiguidade grega, com os chamados filósofos Pré-Socráticos, no final do século VII a.C. Durante aproximadamente cento e cinquenta anos, personagens como Tales, Anaxímenes, Anaximandro, Heráclito, Pitágoras, Empédocles, Demócrito, entre vários outros, propuseram uma nova maneira de conceber explicações para os fenômenos natu-

rais que se, por um lado, possuía um caráter altamente especulativo, por outro, apresentava, pela primeira vez, uma tentativa de entender o universo de forma exclusivamente *racional*, mas sem apelar para elementos míticos ou religiosos<sup>1</sup>. Os Pré-Socráticos foram responsáveis por inaugurar não apenas a investigação natural (física e ontológica), mas, também, por iniciar questionamentos de caráter *epistemológico*, ao começarem a se questionar sobre a validade do conhecimento, bem como o modo de alcançá-lo [1,2].

---

\*Professor do Instituto de Física - IFD, Universidade de Brasília, UnB, Campus Universitário Darcy Ribeiro

<sup>1</sup>Não é o caso de se negar que haja, nas tentativas de compreensão do universo com base em elementos míticos e religiosos, *racionalidade*, embora, certamente, de um tipo distinto daquele que os Pré-Socráticos inauguraram.

Contudo, foi com Platão (c. 428 – 347 a.C.) que a filosofia grega alcançou um patamar superior de articulação, permitindo que os aspectos físico, ontológico e epistemológico passassem a ser claramente diferenciados. Platão, entretanto, faria uma inversão lógica no esquema de prioridades, de tal modo que o problema ontológico passou a ser preponderante com relação ao problema físico. A física de Platão passou, assim, a ser subsidiária de sua metafísica [3-5].

A metafísica platônica era bastante sofisticada. Ela atribuía ao que se convencionou chamar de mundo das *formas* (ou *ideias*) uma posição privilegiada em relação ao mundo material. As formas constituíam o verdadeiro, o real, e “habitavam” um mundo à parte, “externo” ao mundo dos fenômenos: um mundo de eternidade, excluído ao tempo e ao espaço. Os objetos do mundo físico eram concebidos como meras cópias imperfeitas das formas e, nesse sentido, eram menos reais do que elas. Para Platão, somente a razão era capaz de acessar, ou contemplar, o mundo das formas. Os sentidos humanos eram capazes apenas de fornecer subsídio para a mera *opinião* e, por isso, não permitiam exprimir nada além do meramente plausível ou provável. Seu domínio de atuação era um mundo material, onde o movimento e a mudança em geral eram sinônimos de imperfeição e corruptibilidade. Nessa ordem das coisas, o *espírito* ou *intelecto* (*nous*<sup>2</sup>), sendo o único capaz de pensar, era consi-

derado superior à matéria e ao corpo, sendo este capaz, unicamente, de *sentir*.

Do ponto de vista da investigação científica, esse tipo de visão acabou por dar preponderância aos métodos matemáticos (geométricos), no que se refere ao poder de acesso à verdade. Se, por um lado, a matemática e a ontologia passaram a ser cruciais para Platão, seu desprezo pelo mundo fenomênico refletir-se-ia em uma perspectiva que estabelecia a atividade do pensamento puro e a atitude contemplativa/reflexiva como as únicas merecedoras de dignidade intelectual. A postura ativa perante o mundo físico, ligada à sua manipulação prática, era vista como atividade de segunda categoria. Razões de natureza econômica e política, mas também cultural, ajudaram a construir essa visão. Afinal, em uma sociedade cujo modo de produção se baseava no trabalho escravo, atividades manuais e produtivas dificilmente poderiam ser valorizadas. Por outro lado, o caráter eminentemente humanista do pensamento platônico, com sua predileção por questões éticas e políticas, não poderia contribuir muito para uma visão da natureza que fosse técnica e/ou prática<sup>3</sup>

A visão cosmológica de Platão incluía muitos elementos derivados aos Pré-Socráticos, porém, em perspectivas bem inovadoras. Na obra intitulada *Timeu* [6], Platão descreveu a geração do cosmos e construiu toda a sua física. De início, postulou a existência de uma *Inteligência* ordenadora (o *De-*

<sup>2</sup>O *nous* grego era mais semelhante a uma espécie de *intuição intelectual* e, nesse sentido, distinguia-se do *logos*, cujo modo de operação era o *raciocínio discursivo*. A intuição intelectual era uma faculdade da razão que apreendia imediatamente a essência dos objetos, ou seja, seu ser e seu significado. Já a razão discursiva procedia de forma mediatizada, operando por meio de uma linguagem, guiada pela lógica. Para Platão, entretanto, ambas eram faculdades intelectuais e, nesse sentido, propriedades do espírito.

<sup>3</sup>Note que, por humanista, não se quer referir a uma visão moderna, em que *homem* é todo indivíduo da espécie humana. Para um grego antigo, homem era apenas o cidadão da *Pólis* grega, o que excluía não apenas os escravos como, potencialmente, todos os que não habitavam o universo de língua grega. Daí não haver contradição entre o humanismo platônico e a escravidão, ou entre ele e o desprezo pelas atividades manuais e artísticas.

<sup>4</sup>Platão desenvolveu toda a sua obra em uma linguagem sumamente peculiar, constantemente lançando mão de figuras míticas. Não é possível descartar a possibilidade de que ele ainda assumisse a literalidade de certos elementos mitológicos, muito embora frequentemente argumente-se que seu uso da alegoria tinha caráter essencialmente didático-pedagógico.

*miurgo*) que criara o mundo físico usando como modelos as formas preexistentes<sup>4</sup>. O Demiurgo atuara sobre a *matéria* e o *caos* – também preexistentes –, ambos caracterizados pela *necessidade cega* – ou seja, evoluindo mecanicamente, sem propósitos ou fim específicos –, os quais, diferentemente das formas, possuíam *extensão espacial*. Por razões de ordem matemática e apoiando-se sobre a metafísica pitagórica, Platão assimilou os quatro elementos de Empédocles – *Terra, Água, Ar e Fogo* – e os fez comparecer em seu universo em proporções definidas, gerando sua própria noção de harmonia<sup>5</sup>. Ele associou a cada elemento um dos cinco sólidos regulares convexos, já então conhecidos (ao dodecaedro ficaria associado o *cosmos*, como um todo). Com isso, ele reduziu as infinitas formas dos átomos de Demócrito a apenas quatro<sup>6</sup>. Usando o fato de que esses sólidos são decomponíveis em triângulos elementares, Platão engendrou uma complicada teoria da constituição dos corpos e chegou mesmo a dar uma explicação dos diversos estados da matéria e de suas transformações.

A forma do universo era esférica (influência pitagórica e parmenidiana [1-2]) e os seus elementos eram ordenados da periferia para o centro, segundo uma hierarquia de perfeição decrescente. Assim é que as estrelas e os planetas, considerados mais perfeitos que os objetos terrenos, passaram a ser considerados como feitos do elemento *fogo*, tendo sido posicionados na periferia. Essa característica de perfeição da esfera celeste era representada por suas órbitas *circulares* e era compatível com seu tratamento matemático mais simples. De fato, não

é de surpreender que a física tenha começado como astronomia. Em comparação com os fenômenos e os movimentos que são observados na Terra, os fenômenos celestes e a movimentação das estrelas e dos planetas são bem mais simples e regulares<sup>7</sup>.

## I. O UNIVERSO ARISTOTÉLICO

Se Platão representou, para a ciência nascente da Revolução Científica, uma fonte de inspiração – ainda que não tanto pela sua física, mas, principalmente, pela sua metafísica, sua epistemologia e pelo privilégio conferido à matemática –, Aristóteles seria – de certo modo, injustamente – considerado um de seus maiores obstáculos. A injustiça para com Aristóteles é dúplice. Por um lado, se sua cosmovisão imperou por quase dois milênios, isso se deveu – pelo menos no que se refere aos últimos quatro séculos da Idade Média – aos interesses teológicos e políticos da então todo-poderosa Igreja Católica [7]. Por outro lado, a acusação de impedir o desenvolvimento da ciência moderna não faz exatamente justiça à grandeza intelectual de sua obra, considerada como tendo sido, de fato, o primeiro sistema completo de explicação da natureza. O sistema aristotélico fornecia explicações profundas e (relativamente) coerentes do universo físico de sua época, além de prover os fundamentos da lógica e da ontologia que se tornaram também pilares fundamentais sobre os quais a ciência pôde, posteriormente, se apoiar. A maioria de suas contribuições, nesses dois campos, permanece válida

<sup>5</sup>Agora, puramente matemática e não musical, como nos pitagóricos. A noção de harmonia era fundamental no cosmos platônico e prosperaria também entre os neoplatônicos. Esteve eclipsada pelo aristotelismo por quase dez séculos, mas retornaria com força surpreendente no Renascimento, vindo a desempenhar um papel crucial durante a Revolução Científica, principalmente com Copérnico, Bruno e Kepler [1].

<sup>6</sup>Apesar da incorporação dos átomos de Demócrito, o universo de Platão não possuía espaços vazios: o espaço era todo ele preenchido pela matéria-prima que seria modelada pelo Demiurgo, ou antes, era considerado idêntico a ela.

<sup>7</sup>Na verdade, os movimentos dos planetas não são tão simples assim. No tempo de Platão, essas dificuldades já eram bem conhecidas. Entretanto, ele criou soluções metafísicas para lidar com algumas delas (mas não com todas), as quais, em razão de sua artificialidade, perderam o interesse para os não especialistas [3].

até hoje [3,8].

**Aristóteles** (c. 384 – 322 a.C.) foi discípulo de Platão, mas suas filosofias têm diferenças radicais, de modo que parecem ser opostas em praticamente tudo. A verdade, no entanto, é que o pensamento platônico foi, em grande parte, assimilado para, em seguida, ser transformado por Aristóteles. No entanto, ao contrário de meramente se posicionar contra os pontos centrais da metafísica platônica, em quase todos os aspectos Aristóteles o fez de forma a ir muito além de Platão. De fato, Aristóteles foi capaz de suprir os métodos, a linguagem e os conceitos pelos quais boa parte da ciência de seu próprio tempo passaria a se expressar e que, por fim, permitiriam à ciência dos tempos modernos superá-lo.

Aristóteles abandonou não só a linguagem platônica, fortemente carregada de figuras míticas, mas, também, a própria componente místico-religiosa que caracterizara grande parte do pensamento platônico. Desafortunadamente, ele abandonou também o interesse pela matemática, a qual Platão havia transformado em uma ciência voltada menos para o tratamento dos fenômenos naturais do que para o desenvolvimento de especulações sobre harmonias metafísicas no universo. No lugar da matemática, entretanto, privilegiou a observação empírica<sup>8</sup>. Essa atitude era coerente com o seu processo de desconstrução do mundo das *formas* de Platão, porém, acabou por implicar a construção de uma ciência preponderantemente qualitativa.

<sup>8</sup>Aristóteles distinguiu as ciências em três grandes ramos: as ciências que buscam o saber em si mesmo (ciências teoréticas), as ciências que buscam o saber para alcançar a perfeição moral (ciências práticas) e as ciências que buscam o saber com objetivos produtivos (ciências poiéticas). A matemática, juntamente com a física e a metafísica, integrava o grupo das ciências teoréticas, as que possuíam a dignidade mais elevada. Porém, a matemática, sendo a ciência do número e da forma geométrica, era concebida por Aristóteles como uma ciência cujo objeto era já um produto de um processo de *abstração* operado sobre o mundo concreto das entidades físicas. Isso significa que, ao contrário de Platão, que considerava os objetos matemáticos como *formas*, com realidade independente, Aristóteles os considerava como *entes de razão*, existindo *potencialmente*, nas coisas sensíveis, e em *ato*, apenas em nossas mentes.

<sup>9</sup>A qual não tinha esse nome, evidentemente. Todos os ramos do conhecimento eram apenas *física*. A ideia de biologia como uma ciência específica, com um objeto de estudo definido e separado dos demais, evidentemente, não existia. Porém, isso não significa que o mundo vivo não fosse considerado especial, quando comparado com o restante do mundo físico.

Desse modo, ele fortaleceu as ciências empíricas, passando a fazer grandes sistematizações de todos os tipos de fatos que observava no mundo natural. Essas sistematizações e compilações, feitas no seu próprio tempo, mas continuadas por seus discípulos (como Teofrasto) na escola que ele havia fundado (o Liceu), constituiriam os germes de diversas ciências particulares e ajudariam a fundar o que viria a ser conhecido posteriormente por *história natural* (zoologia, botânica, geologia, etc.). Nesse processo, deu relativa preponderância à biologia<sup>9</sup> – a qual passou a desempenhar um papel estruturante, em sua filosofia, similar ao que a matemática havia desempenhado, na filosofia platônica. Assim, é importante perceber como Aristóteles modelou a natureza física através de sua compreensão da natureza viva. Isso ficará claro quando abordarmos suas noções de *ato* e *potência*, de *movimentos naturais* e, principalmente, de *causa final*, todas utilizadas na construção de sua teoria geral do movimento. Aristóteles desenvolveu, igualmente, a lógica e a teoria da linguagem que, juntamente com sua perspectiva “biologizante”, constituíram os pilares do processo de reconstrução da noção de *forma* e de sua nova posição no esquema da natureza.

É curioso e importante notar que a retomada do pensamento pitagórico-platônico, na Idade Moderna, representou um passo decisivo para o surgimento da física como a ciência que hoje conhecemos. Esse passo permitiu que a matemática substituísse a lógica aristotélica como *linguagem*

dentro da qual os conceitos da ciência nascente viriam a ser articulados. Porém, em contraponto, a paulatina orientação do pensamento antigo e medieval no sentido da *empíria* – em maior conformidade com o legado do pensamento aristotélico –, também cumpriu papel relevante no amadurecimento do que viria a se tornar o verdadeiro *método experimental*, sobre o qual a ciência iria, finalmente, assentar-se.

## I. A Metafísica de Aristóteles

A física e a metafísica de Aristóteles são intimamente conectadas, e é, virtualmente, impossível compreender a primeira sem compreender a segunda [3,9,10]. A rigor, é sempre impossível falar sobre a estrutura das leis e princípios de qualquer ciência particular sem antes estabelecer a sua *metafísica*. Isso porque é a metafísica que se encarrega, essencialmente, de fixar as *categorias* de objetos sobre os quais uma ciência particular se debruça e que constituem seu âmbito de estudo. Isso quer dizer que a metafísica define uma *ontologia*, ou o conjunto das entidades sobre as quais versa certo tipo de discurso teórico, no caso, o científico. No contexto científico contemporâneo, tal conjunto costuma estar praticamente fixado, em virtude de amplo trabalho prévio. Por exemplo, sabemos que, dentro da ciência do eletromagnetismo, o discurso teórico se fará em torno de entidades como correntes elétricas, distribuições de carga elétrica, campos elétricos, campos magnéticos, etc. Não era esse o caso no tempo de Aristóteles, pois todo o universo

dos entes e objetos do discurso científico ainda carecia de definição e ordenação. De modo que, se não havia uma física construída, tampouco havia uma metafísica ou, mais propriamente, uma ontologia prévia, a qual se referir. Portanto, juntamente com as leis que regem os fenômenos naturais, Aristóteles precisava estabelecer os tipos de objetos que estariam submetidos àquelas leis, fixando também uma *terminologia* e uma *classificação* para eles, além de suas propriedades.

Esse entendimento é, em larga medida, moderno. Aristóteles não se expressava exatamente nesses termos. Para ele, *metafísica* era aquela dentre as ciências *teóricas* que indagava pelas *causas e princípios primeiros*<sup>10</sup>, sendo, por isso mesmo, a mais importante de todas. A noção de *causa*, portanto, assumia papel central. No que se referia ao mundo natural, eram quatro as causas. Eram elas que definiam as condições de inteligibilidade da constituição e da transformação dos objetos físicos. As duas primeiras procuravam explicar a realidade quando considerada *estaticamente*. A primeira delas era a *causa material*: o substrato do qual as coisas eram feitas. Esse substrato era, originalmente, uma *matéria primeira (hylé)*, completamente destituída de *determinações*. As determinações eram dadas pela segunda delas, a *causa formal*, que constituía aquilo que fazia de uma coisa o que ela era, em contraposição a todas as demais. Assim, por exemplo, em uma cadeira – uma cadeira específica, não uma cadeira em geral –, a madeira que a constitui é sua causa material<sup>11</sup>, mas o fato de que possui uma configuração geométrica específica (uma figura, conformação, desenho), feita

<sup>10</sup>Definições suplementares dadas por Aristóteles incluíam a metafísica como indagando o *Ser enquanto Ser*, indagando pela *substância* e indagando sobre *Deus* e a *substância supra-sensível*. Em todas elas, o relevante é o significado de algo que está para além do puramente material, seja no sentido de algo espiritual e inteligível, seja no sentido de algo conceitualmente anterior a toda determinação do universo fenomênico.

<sup>11</sup>Veremos, mais abaixo, que as determinações dadas pelas causas formais são cumulativas. As primeiras determinações da matéria primeira são aquelas que permitem formar os quatro elementos fundamentais: Terra, Ar, Água e Fogo. Na sequência, *formas substanciais* adicionais determinam matérias compostas por esses quatro elementos, como, no caso da cadeira, a madeira.

para sentar, responde pela sua causa formal<sup>12</sup>. As duas outras noções de causa são mais próximas daquilo a que costumamos nos referir quando usamos esse termo. Elas procuravam explicar a realidade quando considerada *dinamicamente*, em seu processo de mudança e transformação. A primeira delas era a *causa eficiente*, que identificava, no processo de transformação, o agente responsável. A segunda era a *causa final*, que identificava o objetivo em função do qual uma mudança havia acontecido. No caso da cadeira, sua causa eficiente podia ser entendida como sendo o trabalho do artesão que a produziu. Sua causa final é o fim para o qual foi produzida, ou seja, para alguém sentar-se. Note que a causa final *dirige* o processo de transformação da madeira em uma cadeira.

De todas as noções de causa, apenas a noção de causa eficiente continuou a ser utilizada no contexto da física moderna<sup>13</sup>. A substituição da metafísica aristotélica por uma *metafísica mecanicista*, durante a Revolução Científica – sobretudo, pelas mãos de Descartes –, tornou obsoleta a noção de causa formal, e trivial a noção de causa material. E, o que é o mais importante, considerou completamente inútil a noção de causa final, quando não de todo errônea<sup>14</sup> [11].

Estando preocupado com o problema de como *expressar* a realidade, Aristóteles elencou as modalidades possíveis de um discurso sobre tudo o que existe, ou seja, sobre todos os *significados* do

*Ser*: a) o Ser como *categorias*, b) o Ser como *ato* e *potência*, c) o Ser como *acidente* e d) o Ser como *verdadeiro*. O Ser como *acidente* dava conta das manifestações do que era fortuito e casual e que, por isso, não se referia à essência das coisas. Desse tipo de Ser não podia haver ciência, pois o acidental não satisfazia a nenhum critério de universalidade e necessidade. O Ser como *verdadeiro* se referia à adequação entre o *discurso* sobre o Ser e a *realidade* do Ser, sendo, portanto, do âmbito da lógica.

Mais relevantes para a física aristotélica são as duas primeiras modalidades. O Ser como *categorias* dizia respeito aos supremos gêneros, ou *modos*, do Ser. Esses modos são exauridos pela tábua das categorias, composta de dez elementos: *substância*, *qualidade* (aspectos como cor, textura, brilho, sabor, temperatura – se é “quente” ou “frio” –, umidade – se é “seco” ou “úmido”-, etc.), *quantidade* (a extensão, o tamanho ou o número), *relação* (situação ou ordenação com relação às demais substâncias), *ação* (o modo como age sobre outras substâncias), *paixão* (o modo como sofre a ação), *lugar*, *tempo*, *estado* (o resultado final após ter agido) e *hábito* (circunstância ou resultado após ter sofrido a ação). Todas as nove últimas categorias são *predicamentos* ou *atributos* do Ser, ou seja, correspondem às determinações (*formas*, em geral) que permitem expressar exhaustivamente tudo o que pode ser dito sobre a primeira delas, a *substância*, com exceção da sua *essência* ou *forma substancial*.

<sup>12</sup>Afinal, sem aquele desenho específico, outro objeto, construído com a mesma madeira, dificilmente poderia ser chamado de cadeira. Logo, é uma “forma” que permita alguém sentar-se que faz da cadeira o que ela é, *essencialmente*. Entretanto, é preciso tomar cuidado, pois a causa formal aristotélica não é uma forma geométrica, embora formas geométricas possam fazer parte de *causas* formais.

<sup>13</sup>Embora sem o qualificativo “eficiente”. A rigor, a noção de causalidade passou por várias e profundas transformações ao longo da história da ciência e hoje está relegada a um papel um tanto secundário, em razão de seu conteúdo ter sido articulado em função de outros conceitos, como o de *força*, por exemplo. É interessante observar, entretanto, que uma vertente filosófica inteira procurou expurgar a ciência da noção *metafísica* de *causa*, por considerá-la inútil ou pior, ininteligível. Essa vertente teve no filósofo David Hume (1711-1776) um de seus principais inspiradores.

<sup>14</sup>Inútil no sentido de que é claro que se pode continuar dizendo que a cadeira foi feita para sentar, mas isso passou a não ser mais do interesse da física. Mais importante é tê-la considerada errônea: não se aceita, em ciência moderna, nenhuma explicação científica que apele para fins ou propósitos, ainda que o assunto seja, ainda, um tanto controverso.

As substâncias, por sua vez, são as coisas que compõem o universo, seja no sentido concreto (*substâncias primeiras*), seja no sentido lógico de *gênero e espécie* (*substâncias segundas*)<sup>15</sup>. São, assim, os *sujeitos* dos quais se fala alguma coisa, como, por exemplo, a cadeira individual na qual estou sentado (substância primeira), ou as cadeiras em geral (substâncias segundas), tanto como cadeiras desse tipo (espécie) como quanto objetos em geral usados para sentar (gênero). Assim, podemos falar de uma cadeira, em particular, como sendo branca (qualidade), como tendo 70 cm de altura (quantidade), como ocupando uma porção específica da sala (lugar)<sup>16</sup>, agora (tempo), e assim por diante. Note-se a profunda conexão com a estrutura gramatical da linguagem, embora a relação entre as categorias do Ser e as categorias gramaticais não seja, obviamente, perfeita.

A formulação aristotélica do conceito de subs-

tância foi uma clara superação das noções dos Pré-Socráticos – para os quais a substância era um elemento material<sup>17</sup> – e do conceito platônico, no qual a substância era uma *ideia* (ou seja, uma *forma*). Para Aristóteles, as substâncias (primeiras) são sempre *sínoles* (sínteses indissolúveis) de *matéria e forma*. Nesse sentido, a substância é sempre uma coisa concreta, e, a rigor, apenas as coisas concretas *existem na realidade*. A matéria, embora seja essencial para a substância (pois é princípio constitutivo), é mera potencialidade indeterminada (veremos abaixo o que isso significa em termos dos conceitos de *ato e potência*). Da mesma maneira, a forma, embora seja essencial (pois é princípio formal, ou seja, que define), só existe enquanto determinação da matéria e, portanto, não tem existência independente<sup>18</sup>.

Com isso chegamos às noções de *ato e potência*. Enquanto as categorias podem ser vistas como

<sup>15</sup>Note-se que a tábua das categorias pretende exaurir todos os tipos de *formas* que estabelecem as *determinações* da matéria. Diferentemente das demais, a *forma substancial* é quem, de fato, *define* o que um ser concreto é, não tanto como indivíduo, mas, principalmente, como parte de um gênero. É lícito interpretar as formas substanciais, portanto, como definidoras das substâncias segundas, pelo menos no que se refere aos objetos naturais. Todas as demais formas contribuem, portanto, para a identificação de um indivíduo particular, de modo que sua *acumulação* com uma forma substancial permite definir completamente um ser particular. Entretanto, essas definições de substância primeira e substância segunda devem ser consideradas, aqui, apenas para fins *didáticos*, embora seja praticamente o que se depreende da obra *Categorias*. Quando Aristóteles, na obra *Metafísica*, volta a se expressar sobre as prioridades ontológicas, ele defende que as *formas substanciais* são “seres por excelência”, logo, elas é que deveriam ser consideradas as “substâncias primeiras”. Essas sutilezas são irrelevantes para a maior parte do que se segue. Uma dificuldade adicional, apresentada por essa teoria das substâncias, aparece quando se pergunta o que mais uma forma substancial acrescenta ao conjunto de todos os atributos de um ser particular, uma vez que esses parecem cumprir completamente o papel de individuação e, portanto, nesse sentido, de definição da essência. Essa discussão é controversa, mas podemos dizer que Aristóteles era completamente *realista e não-reducionista* a respeito das formas substanciais, e não aceitava concebê-las como meras coleções de atributos. Desse ponto de vista, as formas substanciais são o “que dá um sentido global e completo” a uma determinada coleção específica de atributos. Isso claramente estabelece a pressuposição de que o *todo* não é redutível à soma de suas partes.

<sup>16</sup>Na verdade, o *lugar* foi definido como sendo a *superfície externa* (imóvel, em relação ao todo do universo) que *delimita* o espaço (volume) ocupado por um corpo.

<sup>17</sup>Embora nem sempre. Há muitas variações entre os Pré-Socráticos. Aristóteles tinha conhecimento disso, pois fez comentários de todos eles, para melhor os refutar. Como vimos acima, o Ser, para Heráclito e para Pitágoras, não era apenas matéria, mas também princípio de inteligibilidade.

<sup>18</sup>Estamos, novamente, simplificando propositalmente a metafísica aristotélica, nesse ponto. Como já dissemos, Aristóteles, de fato, concedia uma prioridade ontológica à noção de *forma* e, em particular, às *formas substanciais*, que representavam a “definição” da *essência* das substâncias. Além disso, ele concebeu a possibilidade de algumas *formas* existirem sem *matéria*. Nesse caso, ela representaria uma pura *atualidade* (*ato* puro), desprovida de qualquer *potencialidade*. Esse era o caso de Deus - o *primeiro motor imóvel* - e das *inteligências celestes* - responsáveis pelo movimento dos planetas.

um corte “transversal” do discurso sobre o Ser, as noções de ato e potência são uma “dimensão extra” que permite desdobrar o Ser “longitudinalmente”, segundo o plano do devir, ou seja, da transformação, perpassando todas as categorias. Nesse sentido, incorporam o *tempo* não como categoria – o qual representaria um referencial estático, como um ponto numa reta já previamente dada –, mas como elemento dinâmico, no sentido da descrição do fluxo da mudança, e revelam uma filiação íntima para com a noção de desenvolvimento orgânico, modelado pela observação do desenvolvimento dos seres vivos (morfogênese).

Uma coisa é “em ato” quando está “realizada” (já é *real*), ou seja, concretizada ou, um pouco circularmente, *atualizada*. Uma coisa é “em potência” quando tem o poder de se “atualizar”, ou seja, de se *realizar* (tornar-se *real*), pela aquisição ou perda de alguma *forma*. Nesse sentido, toda *mudança* é sempre a *atualização* de alguma *forma* que existe *potencialmente* nas coisas, antes da mudança completar-se. Assim, num exemplo que se tornou clássico, uma semente é árvore, em potência. A árvore é o resultado do processo de (infinitas) atualizações pelas quais a semente passa. É dessa maneira que se pode dizer que a *matéria primeira* é *potência pura*, pois é capaz de receber qualquer forma e só se atualiza quando a recebe. Já as formas se configuram como ato ou concretização das potencialidades da matéria. Assim, seres imateriais só podem ser *ato puro*, privados de qualquer potencialidade. Para Aristóteles, uma vez que atualizar-se é o objetivo de qualquer potencialidade, o ato tem prioridade sobre a potência e é considerado ontologicamente superior. Esse é o caso de *Deus*, que Aristóteles identificará como sendo o *Primeiro Motor Imóvel* (ou seja, respon-

sável pelo movimento, mas que não é afetado por aquilo que ele move). A substância, ou *sinolo* de matéria e forma é, por outro lado, sempre um misto de ato e potência. Veremos que as noções de ato e potência, assim como as categorias, são elementos fundamentais que não só fornecem os termos nos quais a física aristotélica se expressa, mas, principalmente, permitem fazer dela uma construção coerente e inteligível<sup>19</sup>.

## II. A Física de Aristóteles

A segunda ciência *teorética* em dignidade e valor era, para Aristóteles, a física, ou “filosofia segunda”. Seu objetivo era a investigação da *substância sensível*, cuja caracterização intrínseca era dada pelo *movimento*, ou *mudança*, em sentido genérico.

Para Aristóteles, o movimento devia ser analisado em termos das noções de ato e potência: movimento é a passagem da potência ao ato, ou dito de outra maneira, corresponde sempre à atualização de uma *forma*. Contudo, como potência e ato dizem respeito a todas as categorias, é possível deduzir delas vários tipos de mudança. Em especial, podemos considerar os seguintes tipos: (i) mudança segundo a substância (a “geração” e a “corrupção”), de acordo com a qual uma substância se torna ou deixa de ser o que é, ou seja, correspondendo à atualização de alguma forma substancial; (ii) mudança segundo a qualidade (a “alteração”), correspondendo à aquisição de alguma forma “qualitativa” como, por exemplo, uma mudança de coloração; (iii) mudança segundo a quantidade (o “aumento” ou a “diminuição”); (iv) mudança segundo o lugar (a “locomoção”), ou movimento propria-

<sup>19</sup>A física aristotélica compreendia toda a natureza, incluídos, aí, os seres vivos e o próprio homem. Nesse sentido, é interessante observar que tanto as partes consideradas “vivas” quanto a parte considerada “mental” do universo eram representadas pela postulação de diversas *enteléquias* - as almas *vegetativa*, *sensitiva* e *racional*, possuídas, respectiva e cumulativamente, pelas plantas, animais e seres humanos -, as quais constituíam as *formas substanciais* associadas com os seres vivos.



mente dito, correspondendo à atualização de uma “forma de lugar” que poderá ser ou não, como veremos a seguir, um *lugar natural*. Os três últimos tipos de mudança foram agrupados por Aristóteles sob o nome de *kinesis*. Elas supõem uma substância que permanece a mesma, enquanto seus atributos sofrem mutação.

Uma das preocupações fundamentais de Aristóteles, ao desenvolver a sua física, era mostrar que o movimento não era uma ilusão, como defendia a escola eleática de Parmênides e Zenão. Ao estabelecer as categorias e definir tipos diversos de movimento, Aristóteles resolveu esse problema. Ele conseguiu explicar como a mudança pode acontecer ainda que o Ser (a substância) permaneça imutável, desfazendo o paradoxo eleático. Porém, ainda mais profundamente, Aristóteles também procurou mostrar que o movimento, em si mesmo, não era um mero atributo da substância, mas constituía uma realidade independente, pois o movimento foi entendido como sendo a própria *potencialidade em ato*<sup>20</sup>. Essa visão contribuiu para solidificar as noções antiga e medieval de movimento (e repouso) como correspondendo a um processo *absoluto*, em contraposição à visão que, mais tarde, ao longo da Revolução Científica, negaria ao movimento esse status e concebê-lo-ia como relativo<sup>21</sup>.

Uma vez demonstrada a realidade do movimento, o sistema geral da física aristotélica podia ser construído. Já vimos como Platão incluiu em

sua cosmovisão um elemento de inteligência divina, responsável pelo ordenamento do caos e pela criação do mundo. Aristóteles tinha assimilado muitos dos elementos da cosmologia platônica, mas alterou outros de modo a torná-los coerentes com a sua metafísica. Um dos elementos assimilados foi o elemento *teleológico*<sup>22</sup>. Moldando sua visão segundo um esquema *finalístico*, ele concebeu a natureza por analogia com um organismo vivo, em nítida contraposição à visão mecanicista dos Atomistas (ou mesmo à visão geométrica de Platão). Assim, contra a necessidade cega de átomos em movimento no espaço vazio, Aristóteles construiu uma visão orgânica do mundo. Essa visão engendrou uma teoria que incluía o propósito, ou causa final, como seu elemento irreduzível e fundamental. Como sempre, a causa final também era descrita como atualização de alguma potência. Essa visão orgânica levou Aristóteles a postular<sup>23</sup> que todos os corpos da natureza, animados ou inanimados, podiam apresentar dois, e apenas dois, tipos de movimento: ou *movimentos naturais* ou *movimentos violentos* (forçados)<sup>24</sup>.

Esses postulados podem ser entendidos, segundo uma visão epistemológica moderna, como um tipo específico de generalização indutiva realizada a partir de dados observacionais (fenomênicos), mais conhecida como *inferência para a melhor explicação*. Contudo, é interessante observar como a metafísica de fundo – ato e potência,

<sup>20</sup>Ou seja, o movimento é a atualização da potência como potência. Parece que, com isso, Aristóteles procurou superar a ideia de um movimento divisível em partes estanques – o mesmo que ele fez, na sua obra *Física*, ao criticar Zenão pela noção de tempo como instante –, passando a definir tempo como intervalo (o número do movimento segundo o antes e o depois) [12,10]. (O autor agradece ao revisor por chamar atenção para esse ponto.)

<sup>21</sup>Embora, com Newton, o conceito de movimento absoluto tenha voltado a ser solidamente defendido [11]. Contudo, é importante salientar que, na própria *Física*, Aristóteles construiu uma noção de movimento relativo. (O autor agradece ao revisor por chamar atenção para esse último ponto.)

<sup>22</sup>De *télos*, em grego, que significa fim, meta, objetivo.

<sup>23</sup>A apresentação feita aqui não corresponde à sequência real dos argumentos aristotélicos, sendo antes uma “reconstrução racional”.

<sup>24</sup>Claramente, um mesmo corpo podia apresentar ora movimento natural, ora violento.

<sup>25</sup>Ou melhor, sem ir contra a evidência sensorial de senso comum, à disposição dos gregos antigos. É claro que o aprofunda-

causalidade final – conduziu a formulação dos postulados sem ir contra (quase) nenhuma evidência sensorial<sup>25</sup>. Isso não apenas ilustra a complexidade das inter-relações entre ontologia e física, com suas múltiplas influências recíprocas, como também ilustra o fato de que, muito embora não se possa reconhecer no elemento empírico um *fundamento* para as teorias científicas, ele certamente é o seu mais importante *balizador*.

Os movimentos violentos (ou forçados) eram sempre resultado da ação de contato de outros corpos e correspondiam à atualização de alguma forma que o corpo que age (o “movente”) imprimia sobre o que era movido. Como a própria definição deixa claro, esses movimentos não eram concebidos como naturais. Eles possuíam uma dinâmica peculiar e, geralmente, não eram vistos como passíveis de estudo sistemático, dada a sua potencialmente infinita variedade<sup>26</sup>. Assim, na circunstância de inexistir a ação direta de um corpo sobre outro, ou seja, na ausência de movimento violento, três coisas podiam acontecer: ou movimento natural, ou repouso natural, ou repouso violento. O repouso violento (ou forçado) é ilustrado pela situação de uma pedra que é sustentada pelos braços de um homem. Para entender melhor porque essa situação devia ser concebida como repouso violento, precisamos discorrer, agora, sobre a categoria principal: a dos movimentos naturais (e do repouso natural, por extensão).

Os movimentos naturais eram observados diretamente nas coisas animadas, aquelas que se movem por si mesmas, cujos protótipos são os seres

vivos em geral. Todo movimento *natural* era entendido como a expressão mais pura da natureza específica do objeto que se move. Esse movimento é totalmente *finalístico*, sendo, portanto, guiado por algum propósito. Porém, havia também o caso de coisas inanimadas que, embora não tivessem em si mesmas um princípio de autonomia, pareciam mover-se naturalmente para certos lugares, sem o concurso de nenhuma ação externa visível. Aristóteles denominou esses corpos de *leves* e *pesados*, em conformidade com o tipo de movimento que exibiam: o movimento natural dos leves era para cima, o dos pesados, para baixo, ambos sempre radiais e, portanto, retilíneos. Implícita a essa definição está a suposição de um universo com um centro absolutamente bem definido. Dito de outro modo, era da natureza dos pesados procurarem atualizar um lugar natural mais próximo do centro do universo, enquanto era da natureza dos leves procurarem atualizar um lugar natural mais próximo de sua periferia. Note-se, portanto, que a observação de uma vasta gama de fenômenos naturais em um ambiente (superfície da Terra) que hoje sabemos ser dominado pela gravidade e, mais sutilmente, pelos fenômenos atmosféricos, impunha uma diferenciação qualitativa crucial com respeito ao tipo de movimento. A noção de força gravitacional, ou mesmo de qualquer força que não fosse o resultado direto da ação por contato (das ações de puxar, ou empurrar), não existia. Assim, o movimento de queda (ou ascensão) dos objetos, sob a ação da gravidade (e da atmosfera), era visto como movimento natural (não forçado), resultado da atualização da

mento do estudo da natureza iria mostrar algumas graves deficiências da visão aristotélica, e o acúmulo dessas deficiências iria, por fim, implicar sua derrocada final.

<sup>26</sup>Curiosamente, essa visão era consistente com a ideia geral da ciência grega de que o estudo da natureza só fazia sentido se fosse feito por meio de observação passiva, sem interferência direta nos fenômenos. Afinal, qualquer interferência significaria destruir o movimento natural, que era o principal objetivo da teorização. Isso explica o privilégio que Aristóteles deu ao estudo dos animais (dotados de movimento natural), bem como sua teoria dos movimentos naturais dos corpos em queda (ou ascensão, na atmosfera). Entretanto, a ciência da mecânica, fortemente baseada na investigação do funcionamento de máquinas simples, cujo estudo exigia manipulação direta, desenvolveu-se já no tempo de Aristóteles, assumindo muito de seus princípios, mas, em vários pontos, indo além deles.

potência de um corpo para ocupar o que Aristóteles definiu como sendo o seu *lugar natural* no universo. A noção de *lugar natural* cumpria, portanto, um papel crucial na física aristotélica.

Assimilando as quatro substâncias elementares, tradicionais na filosofia grega desde Empédocles, como também boa parte da concepção platônica descrita no *Timeu*, Aristóteles conferiu, a cada um desses elementos, um lugar natural no universo. Como vimos, a ontologia aristotélica assumia que todos os corpos materiais (substâncias) eram formados por um *sínolo* de *matéria* e de uma *forma substancial*. A matéria específica da qual era formada cada substância, entretanto, era, por sua vez, formada de uma também específica composição dos quatro elementos: Terra, Ar, Fogo e Água. Cada uma dessas substâncias elementares tinha sua própria forma substancial, que combinava as *qualidades básicas e contrárias* representadas pelo *quente*, pelo *frio*, pelo *úmido* e pelo *seco*. Assim, a Terra era fria e seca; o Ar, quente e úmido; o Fogo, quente e seco; a Água, fria e úmida. A *matéria primeira* (*hylé*), da qual todos os quatro elementos são formados, era, como vimos, a matéria desprovida de qualquer determinação, ou seja, sem nenhuma forma substancial.

Diferentemente de Platão, Aristóteles não posicionou os quatro elementos segundo um esquema derivado de considerações matemáticas, mas sim em função de suas concepções físicas, boa parte delas obtidas por meio da observação. Assim, o elemento Terra, sendo o mais “pesado”<sup>27</sup>, tinha no centro do universo seu lugar natural. Os elementos Água, Ar e Fogo ocupavam, sucessivamente,

esferas concêntricas. Com a noção de lugar natural, os conceitos de movimento e repouso naturais podiam ser articulados. A “leveza” do Fogo e do Ar fazia com que eles tivessem o movimento natural de ascender. Todos os corpos (não celestes) eram, contudo, sempre constituídos de uma mistura dos quatro elementos, e seus movimentos naturais eram, consistentemente, uma expressão dessa composição. Uma vez alcançado seu lugar natural, o objeto entrava em repouso: *repouso natural*. Assim, o estado de repouso era considerado *absoluto*: era a atualização final de uma potencialidade. Desse modo, a remoção de um corpo de seu estado de repouso natural só era possível por meio de um movimento violento.

A concepção de espaço na física aristotélica era, portanto, bastante distinta da que temos na física contemporânea<sup>28</sup>. Modernamente, diríamos que o espaço não era *homogêneo*, embora fosse *isotrópico*. Amalgamada como era essa concepção de espaço com a própria noção de gravidade, era como se o espaço conferisse, absolutamente, propensões aos objetos nele postos para se moverem de determinado modo. Porém, essa é uma interpretação do ponto de vista moderno. Do ponto de vista de Aristóteles, eram as coisas mesmas que possuíam as potencialidades para alcançar seus lugares naturais no universo, atualizando-as. Essa concepção de espaço articulava-se com outro elemento que Aristóteles assimilou de Platão: a de um universo plenamente ocupado. Os Atomistas haviam defendido o espaço vazio como condição necessária para que o movimento, ou mudança de lugar, pudesse ocorrer. Aristóteles, negando veementemente

<sup>27</sup> Assim como os demais elementos, o elemento *Terra* era concebido como um elemento “puro”. A terra propriamente dita deveria ser uma combinação específica de todos os quatro elementos com, presumivelmente, maior parcela do próprio elemento *Terra*.

<sup>28</sup> Quanto ao *tempo*, entretanto, Aristóteles o definiria em termos que soam bastante modernos, ao afirmar que “tempo é o número do movimento, segundo o antes e o depois”. Isso significa que o tempo é o intervalo entre dois instantes (o antes e o depois), ou seja, uma quantidade *especializada*, o que permitiu a ele definir velocidade como a razão entre duas grandezas “sincrônicas”, ou seja, de mesma natureza, o que era mais adequado à concepção matemática grega [3-5,10,12].

a possibilidade do espaço vazio, defendia que o movimento podia ocorrer mesmo em um *plenum* material, bastando, para isso, que os corpos dessem *lugar* simultaneamente uns aos outros, como no movimento no interior de um fluido. E, como dissemos acima, uma vez alcançado seu lugar natural, apenas a ação de uma força (de contato) poderia fazer um objeto entrar novamente em movimento. Aristóteles tinha um argumento bastante sofisticado para defender essa conclusão. Se houvesse o vazio, não haveria nenhum motivo para que um objeto, uma vez posto em movimento, viesse a parar em qualquer “lugar” específico do espaço vazio, haja vista serem todos esses “lugares” indistintos. Portanto, em um espaço vazio, um objeto não pararia nunca. Ou, dito de outro modo, em um espaço vazio não haveria movimento natural. Porém, isso, sendo impossível, demonstra que o espaço vazio não poderia existir. Aristóteles estava, assim, expressando, só que com o objetivo de negar, o que seria, séculos depois – com Galileu e, mais propriamente, Descartes –, concebido como o *princípio de inércia* ou, ainda mais propriamente, de *conservação da quantidade de movimento*. Note-se que, igualmente, ele conseguiu perceber que a base para o estabelecimento dessa conclusão era um princípio de simetria: de fato, é a homogeneidade do espaço vazio que garante o que hoje chamamos de *princípio de conservação da quantidade de movimento*.

Outra consequência deduzida da postulação de movimentos naturais (e, portanto, da existência de lugares naturais) era a concepção que Aristóteles tinha de um universo finito. Ele, contrariamente a

seus predecessores, não podia conceber o *infinito atual* (real, completado), apenas o infinito potencial<sup>29</sup>. Afinal, para um infinito ser atual, deveria ser substancial e, portanto, um corpo. Um corpo infinito não pode ter lugar natural. Logo, ele não pode existir. O universo, portanto, tinha que ser finito. Em um universo finito, o movimento perpétuo em linha reta é, obviamente, impossível. A evidência observacional impunha a Aristóteles o fato de que os astros possuíam um movimento perpétuo que, diferentemente dos movimentos naturais retilíneos dos corpos terrestres, parecia sempre retornar ao mesmo lugar. Por outro lado, a figura geométrica mais simples que, adicionalmente, encarnava as ideias de imutabilidade e eternidade, era o círculo. Assim, apelando para um critério de simplicidade, Aristóteles assimilou mais um elemento platônico<sup>30</sup> e conferiu ao círculo papel proeminente em seu universo como sendo a descrição matemática da trajetória dos astros. A implicação imediata desse fato foi a divisão do universo em duas partes distintas.

A primeira parte era o *mundo sublunar*, constituído pelos corpos terrestres, compostos pelas quatro substâncias elementares, com a Terra, imóvel, ocupando seu centro. Era o lugar da mudança e da transformação, da geração e da corrupção e dos movimentos naturais retilíneos, para cima ou para baixo, ou seja, radialmente dirigidos para o centro, ou para fora dele. A segunda parte era o *mundo supralunar* ou celeste. Nenhuma mudança, transformação, geração ou corrupção podia acontecer nesse mundo, com exceção do movimento circular ou, como foi chamado, *movimento local*.

<sup>29</sup>O infinito era potencialidade que jamais se realizava. De fato, Aristóteles concebeu, por exemplo, o número como infinito em potência, pois a ele sempre pode ser acrescentado mais um número. Da mesma forma, concebeu o espaço como infinito em potência, na medida em que é infinitamente divisível. Com isso, foi o primeiro a conceber noção de *contínuo* matemático. Contraditoriamente, entretanto, ele concebeu o tempo como infinito, afirmando a eternidade do universo. Essa falha foi claramente percebida pelo filósofo neoplatônico João Philoponus (490 – 570 d.C.), um dos precursores do conceito medieval de *impetus* [11].

<sup>30</sup>Aristóteles adotou e modificou o sistema de *esferas homocêntricas*, devido ao grande matemático e astrônomo Eudóxio de Cnido (408 – 355 a.C.), contemporâneo seu e membro da Academia de Platão.

Para garantir sua incorruptibilidade e imutabilidade, Aristóteles o fez composto de uma “quinta essência” denominada Éter. O Éter não era nem pesado, nem leve, por isso seu movimento deveria ser tal que nem se afastasse, nem se aproximasse do centro. Assim, sua única potência era a de passar de um ponto para outro, eternamente, em movimento circular<sup>31</sup>.

Essa divisão do universo subsistiria por séculos. Foi relativamente aceita pela ciência medieval, mas só seria seriamente desafiada por Galileu, já no século XVII, durante a Revolução Científica<sup>32</sup>. Ela implicou concepções físicas muito distintas entre os fenômenos celestes e os fenômenos terrestres, de modo que eles deveriam satisfazer a leis essencialmente diferentes. Dessa dicotomia se ressentiram as histórias da astronomia e da mecânica, pois elas passariam a ser consideradas, definitivamente, ciências separadas, cujos objetos de estudo eram essencialmente distintos e, em função disso, passaram a trilhar trajetórias independentes. Não por acaso, a astronomia passou a ser considerada uma ciência matemática, em conformidade com a natureza perfeita de seu objeto de estudo. Por outro lado, a mecânica, por estar associada a um

mundo onde o acaso, a irregularidade e a imperfeição eram comuns, teve boa parte do seu desenvolvimento atrasado, por não ter sido amplamente reconhecida como uma ciência “matematizável”<sup>33</sup>. Observe-se que as concepções cosmológicas aristotélicas se ajustavam bem à astronomia teórica do século IV a. C., a qual analisava as trajetórias do Sol, da Lua e dos demais planetas como resultado da composição dos movimentos de muitas esferas cristalinas concêntricas, “ligadas” umas às outras e girando em torno do centro do universo, com diferentes velocidades angulares. Após Aristóteles, entretanto, a astronomia passou por grande desenvolvimento, acompanhando e incentivando o desenvolvimento conjunto da geometria<sup>34</sup>. A física terrestre (a mecânica) deveria passar por um caminho um pouco mais tortuoso. A separação dos âmbitos da física celeste e da física terrestre só seria desafiada com o advento da física mecanicista cartesiana que, embora não tenha sido bem-sucedida, abriu caminho para a dissolução final, realizada no âmbito da mecânica newtoniana. A síntese newtoniana foi o primeiro esquema moderno *unificado* de explicação da natureza realmente bem-sucedido matemática e experimentalmente. A partir de en-

<sup>31</sup>Note-se aqui um ponto importante. O movimento dos astros não era concebido nem como natural, nem como violento. Ao contrário do que possa parecer, embora exigisse o concurso de uma ação externa que os mantivesse, essa ação não era uma causa eficiente, operando por contato, e sim uma *causa final*. Essa ação finalística era provida por Deus, o *primeiro motor imóvel*, em última instância, e por uma grande quantidade de outros motores imóveis de menor hierarquia (as *inteligências celestes*), em instâncias intermediárias, cujas naturezas eram ser *ato puro*, sendo, portanto, imateriais [3-4,10].

<sup>32</sup>Na verdade, a ciência medieval se contrapôs à ciência aristotélica em diversas partes do seu sistema. Entretanto, suas objeções não foram feitas de maneira global, sistêmica, como as fez Galileu. A noção de *impetus*, por exemplo, é uma contraposição à noção de lugar natural, porém, não apenas foi articulada como contraposição local ao sistema, como também foi realizada com o objetivo de sustentá-lo, e não de destruí-lo [11]. (O autor agradece ao revisor por chamar atenção para esse ponto.)

<sup>33</sup>Há, evidentemente, muitas exceções a esses esquemas simplificados de explicação da história. Talvez, o contraexemplo mais ilustre seja o da estática de corpos rígidos e de fluidos que, pelas mãos de Euclides de Alexandria (323 – 283 a.C.) e Arquimedes de Siracusa (287 – 212 a.C.), teve seu desenvolvimento matemático quase perfeito completado ainda na Antiguidade.

<sup>34</sup>A astronomia do tempo de Aristóteles, essencialmente devida a Eudóxio de Cnido, seria profundamente corrigida por astrônomos de épocas posteriores, tais como Apolônio de Perga (262 – 190 a.C.), Hiparco de Nicéia (190 – 120 a.C.) e, finalmente, Cláudio Ptolomeu (90 – 168 d.C.). Entretanto, não se desvencilhou do geocentrismo, com a única exceção da proposta de Aristarco de Samos (310 – 230 a.C.), que não prosperou.

tão, a ideia de *unificação* jamais deixaria de ser um *conceito-chave* para o entendimento da evolução dos conceitos dentro da física.

Até esse ponto, vimos como as concepções metafísicas de Aristóteles implicaram sua física em dimensão cosmológica. Vamos agora detalhar um pouco mais sua física terrestre. Como vimos, as concepções aristotélicas sobre a física do movimento dos corpos na esfera sublunar eram formuladas segundo a ideia de movimentos naturais. De que modo cada corpo se comportaria em seus respectivos movimentos naturais dependia, essencialmente, de sua composição. As noções qualitativas de *peso* e *leveza* jogavam papel fundamental na descrição do movimento. Aristóteles afirmou explicitamente que a distância percorrida por um corpo, em movimento natural, em um intervalo fixo de tempo, aumentava proporcionalmente com seu peso (*W*). Ou seja, corpos mais pesados caíam mais rapidamente que corpos mais leves. Essa afirmação seria uma das que Galileu mostraria serem falsas. Por outro lado, todo movimento devia ser feito em um meio com certa densidade, já que não há espaço vazio. Isso implica que o meio deve oferecer alguma resistência (*R*) ao movimento. Aristóteles também assumiu explicitamente que a velocidade com que um corpo se move devia ser inversamente proporcional à resistência do meio. Portanto, em termos modernos, poderíamos tentar estabelecer a seguinte expressão matemática para a velocidade de um corpo em movimento natural, segundo Aristóteles:

$$v = \frac{W}{R}$$

Dois comentários sobre a equação acima. Primeiramente, ela não deve ser entendida como uma

asserção quantitativa (até porque há um problema com as unidades), mas, tão somente, *qualitativa*. Em segundo lugar, não é de todo claro se Aristóteles pensava na velocidade *média* ou *instantânea*. Observe-se, de passagem, que em um meio de resistência nula, ou seja, onde  $R = 0$ , a velocidade seria infinita, o que é um absurdo. Aristóteles usou esse argumento adicional para negar a existência do espaço vazio.

A dinâmica dos movimentos violentos, do ponto de vista quantitativo, não chegou a ser formulada para além do estabelecimento de uma lei de “força” (ou “impulso”) que, *grosso modo*, parecia igualar a “força” (ou “impulso”) com o produto do “peso” (ou “massa”) pela velocidade<sup>35</sup>. Não está claro se Aristóteles usava (ou concebia) o conceito de *aceleração*. Como vimos, ele afirmou explicitamente que corpos mais “pesados” caem mais rapidamente que os mais “leves”. Isso está em consonância com a ideia básica de que os “pesados” procuram mais rapidamente atualizar sua potencialidade. Porém, a ambiguidade entre ele se referir à velocidade instantânea ou à velocidade média coloca o problema de saber se ele concebia a queda como movimento acelerado. Não está claro, também, se ele não estaria usando a noção de velocidade como um meio de medir o atributo “ser pesado”, o que poderia implicar, inclusive, a conclusão de que o peso não seria constante, caso ele estivesse se referindo à velocidade instantânea. Por fim, ele estabeleceu – de forma compatível com o fato de que toda dinâmica de um corpo deve acontecer em um meio com certa resistência – que, abaixo de certa quantidade, uma força não seria mais capaz de produzir qualquer movimento. O principal, entretanto, no que diz respeito à concepção do movimento violento, em Aristóteles, é o fato

<sup>35</sup>Os termos usados por Aristóteles são “corpo movente” para a força ou impulso, e “corpo movido” para a massa ou peso, daí as ambiguidades. A terminologia de Aristóteles é compatível com a necessidade do contato para o movimento violento. Ele também concebeu sua relação não como a forma expressa no texto, mas como proporcionalidades, em consonância com a matemática grega da época, a qual não admitia igualar, em uma equação, objetos de naturezas diferentes.

de que, sem o concurso de uma ação contínua, não pode haver movimento. Assim, todo corpo deveria parar imediatamente após cessada a causa que o fazia mover-se. Essa conclusão colocou problemas muito sérios, sobretudo para a física medieval. Das reiteradas tentativas de solucioná-lo surgiram os conceitos de *impetus* e, finalmente, de *inércia* [11].

Dentre esses problemas, notoriamente, o mais sério foi o do *movimento balístico*, ou lançamento sob a ação da gravidade. Esse movimento não podia ser um movimento natural, mas sim violento (forçado). O problema estava em que o objeto em movimento balístico, uma vez lançado, perdia contato com o agente motor e, portanto, não tinha mais uma causa eficiente para seu movimento. Contudo, no esquema aristotélico, se não havia força, não poderia haver movimento. Aparentemente, esse problema nunca pode ser solucionado de modo satisfatório. Uma tentativa pouco convincente de explicação foi engendrada a partir da suposição original de que nenhum movimento acontece no espaço vazio. Assim, a matéria (no caso, ar) à frente do projétil se deslocaria para a parte de trás, provendo o impulso necessário para a continuidade do movimento. Porém, isso colocava uma contradição para o esquema, pois o meio circundante passava a ser tanto resistente quanto impulsivo. Outra tentativa de explicação pouco convincente invocava um efeito de pressão, exercida pela mão do atirador, na porção de ar posicionada logo atrás do projétil, de tal maneira que esta porção, deslocando-se juntamente com o projétil, proveria a força de contato necessária para continuar impulsionando-o. À medida que essa pressão arrefecia, o projétil perderia velocidade e, finalmente, passaria a movimentar-se naturalmente, caindo. A solução matemática definitiva do problema do lançamento sob ação da gravidade só surgiu séculos mais tarde, uma vez mais, pelas mãos de Galileu.

## II. EPÍLOGO

Como dissemos, a visão aristotélica do universo dominou a mentalidade científica europeia (e árabe) por quase dois mil anos. A despeito de uma série de problemas, sua enorme consistência interna permitiu sua sobrevivência por longo tempo. Mais do que soluções exatas para problemas físicos específicos, o edifício conceitual aristotélico provia um esquema geral de compreensão do universo que efetivamente dava respostas, ainda que essencialmente qualitativas, para uma vasta categoria de fenômenos. Ele representou o primeiro passo na elaboração de uma linguagem funcional para a física, elaborando conceitos que, se não sobreviveram, foram os motores para elaborações conceituais mais avançadas, sobretudo aquelas que surgiram, muito mais tarde, pelas mãos de Copérnico, Galileu, Kepler e Descartes. Mesmo antes deles, entretanto, houve um lento, mas progressivo, desenvolvimento dos conceitos da física. A física aristotélica e seus desdobramentos representaram o começo da criação de uma ciência independente. Muito tempo ainda seria necessário para que a física se separasse de vez da filosofia, mas o impulso inicial já estava dado.

## REFERÊNCIAS

- [1] Polito, A. M. M., Olavo, L. S. F. *A Filosofia da Natureza dos Pré-Socráticos*. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 30, n. 2: p. 323-361, (2013).
- [2] Kirk, G. S., Raven, J. E., Schofield, M. *The Presocratic Philosophers*. Cambridge University Press, Cambridge (2007).
- [3] Olavo, L. S. F. *Panorama do Desenvolvimento Histórico dos Conceitos da Física* Tomo 1. (não publicado).

- [4] Lloyd, G. E. R. *Early Greek Science: Thales to Aristotle* W.W. Norton & Company, New York (1970).
- [5] Reale, G., Antiseri, D. *História da Filosofia*. vol. 1. Ed. Paulus, São Paulo (1990).
- [6] Kalkavage, P. *Plato's Timaeus*. Focus Publishing, Newburyport (2001).
- [7] Grant, E. *Physical Science in the Middle Ages*. Cambridge University Press, Cambridge (1977).
- [8] McKeon, R. *The Basic Works of Aristotle*. The Modern Library, New York (2001).
- [9] Aristóteles. *Metaphysics* (traduzido para o inglês por J. Sachs), Oxford University Press Oxford (2008)
- [10] Aristóteles. *Physics* (traduzido para o inglês por R. Waterfield), Oxford University Press Oxford (2008)
- [11] Polito, A. M. M. *Galileu, Descartes e uma Breve História do Princípio de Inércia*. Physicae Organum, v. 1, n. 1, pag. 1 (2015).
- [12] Olavo, L. S. F. *Aristóteles e a Construção da Física*. eBFIS 3 007-1 (2014).