Aristóteles e o Uso da Matemática nas Ciências da Natureza

LUCAS ANGIONI*

I

Constitui um lugar comum na historiografia da ciência (e mesmo na história da filosofia) a afirmação de que Aristóteles teria atrasado o advento da matematização da física, ao proibir a "metabase para outro gênero". Concebendo cada ciência como um domínio absolutamente autônomo e fechado em si mesmo, Aristóteles teria atribuído às ciências naturais princípios essencialmente qualitativos, de tal modo que, ao explicar um fenômeno natural qualquer, seria vetado ao estudioso da natureza o recurso a quaisquer princípios de ordem matemática.[1]

No entanto, em sua tese de doutoramento,[2] Oswaldo Porchat se opôs claramente a essa interpretação: "parece-nos absolutamente evidente que uma leitura mais atenta dos textos aristotélicos impõe a tais julgamentos um flagrante desmentido" (2001, p. 215-6).

---

* Departamento de Filosofia, Universidade Estadual de Campinas.

1 Citemos como exemplo paradigmático Solmsen 1960: após caracterizar Aristóteles como inteiramente avesso à introdução da matemática no "reino da física" (p. 260), ele afirma o seguinte: "The historian of science may *justifiably* regard the decision which cuts physics off from mathematics as a 'fatal step'; and as two thousand years were to elapse before a new bond could be forged, one may sympathize with this historian if he inclines to burden Aristotle with the *full responsability* for blocking promising developments and steering Greek science in a direction which in the end proved sterile" (p. 261, grifos nossos). Ver também L. Robin 1948, pp. 309-310, 370.

2 "A noção aristotélica de ciência" [1967], agora editada em livro, com o título "Ciência e Dialética em Aristóteles", ed. Unesp, 2001. As referências a seguir assumem a paginação do livro recentemente editado.

Segundo Porchat, Aristóteles reconheceu a existência de disciplinas que utilizavam com sucesso princípios matemáticos para explicar fenômenos naturais, como é o caso da ótica e da astronomia em relação aos princípios da geometria, e o caso da harmônica em relação aos princípios da aritmética.[3] E essas disciplinas não configuravam, aos olhos de Aristóteles, exceções à regra universal da proibição da metabase, pois, de acordo com a concepção aristotélica de ciência, nada impediria a utilização de princípios matemáticos na explicação de fenômenos pertencentes ao domínio das ciências naturais.[4]

Para provar esse ponto, Porchat tomou como ponto de partida a distinção entre as noções de "gênero" e "ciência" (pp. 216-7): o "gênero" consiste no assunto subjacente que, em virtude de um conjunto de características comuns a todos os itens reunidos sob seu domínio, delimita as fronteiras nas quais se confinam as explicações científicas. No entanto, nada impede que, dentro de um mesmo "gênero", encontrem-se diversas ciências, cujos respectivos objetos possam ser compreendidos sob (pelo menos) algumas características comuns. Assim, havendo um conjunto mínimo de características gerais compartilhadas pelos respectivos objetos de ciências distintas, haveria a possibilidade de considerá-los sob um *gênero comum*, no qual princípios válidos para uma ciência seriam válidos também para a outra.

Este seria o caso da ótica em relação à geometria. As entidades matemáticas que constituem o domínio da geometria, embora sejam consideradas em si mesmas, como se fossem separadas, são, do ponto de vista de um "censo ontológico", propriedades quantitativas pertencentes a corpos físicos. Justamente por isso, sob certo ponto de vista, os respectivos objetos da ótica e da geometria poderiam ser subsumidos sob o *gênero* da quantidade

[3] É indiscutível que Aristóteles reconheceu tais ciências. Ver Porchat 2001, pp. 219-20, Hussey 1991, p. 213. É despropositada a afirmação de Solmsen 1960, a respeito da astronomia e da ótica: "Neither of them has a place in Aristotle's philosophical pantheon" (p. 261).

[4] Ver Porchat 2001, pp. 217-8.

contínua. Não é preciso entrar nos detalhes do problema da "*aphairesis*" para poder afirmar, "sem temor de avançar temeridades" (Porchat 2001, p. 220), que a própria natureza ontológica das entidades matemáticas garante a possibilidade de um estudo matemático dos fenômenos naturais (ver Porchat 2001, p. 221). Pois eis o que faz a ótica: aplica aos corpos naturais, que naturalmente possuem propriedades quantitativas, as conclusões obtidas no estudo isolado dessas mesmas propriedades, efetuado *in abstrato* pela geometria (ver Porchat 2001, p. 222).

Assim, de acordo com a concepção aristotélica de ciência, é plenamente admissível que princípios matemáticos sejam utilizados como recursos para explicar ao menos as propriedades estritamente quantitativas dos corpos naturais. Diante desse "flagrante desmentido" que tal solução impõe à tradicional acusação movida contra Aristóteles, nada mais me proponho a fazer senão reforçá-lo pelo acréscimo de outros argumentos e pela consideração de outros textos.[5]

II

Primeiramente, cabe contemplar um texto decisivo, no qual Aristóteles atribui às matemáticas a responsabilidade de discernir o *porquê* capaz de explicar fenômenos naturais constatados pela percepção. Diz Aristóteles:

---

[5] Não vou analisar as dificuldades que a solução proposta por Porchat teria de enfrentar. Em 75b 3, Aristóteles afirma claramente que os *gêneros* da aritmética e da geometria seriam respectivamente diversos. Do mesmo modo, em 76a 12, ele afirma que o gênero subjacente da harmonia seria diverso do gênero subjacente da aritmética. Essas afirmações parecem oferecer *prima facie* evidências contra a tese de que um mesmo gênero poderia conglobar ciências distintas, subordinadas entre si. No entanto, cremos que o núcleo principal da solução levantada por Porchat continua válido, sobretudo porque as dificuldades aqui mencionadas podem ser dirimidas por uma meticulosa atenção ao contexto argumentativo em que aparecem.

> de outro modo, o *porquê* é diferente do *que*, porque se contempla cada um deles através de uma ciência diversa. E são deste tipo todos os objetos que assim se comportam reciprocamente de modo que um está sob o outro, tal como, por exemplo, os [objetos] da ótica[6] em relação à geometria, os da mecânica em relação à estereometria, os da harmônica em relação à aritmética e os fatos observados [os fenômenos][7] em relação à astronomia.[...] Pois conhecer o *que* pertence aos perceptivos, ao passo que conhecer o *porquê* pertence aos matemáticos: pois estes possuem as demonstrações das causas, e muitas vezes não conhecem o *que*, tal como aqueles que contemplam o universal muitas vezes não conhecem alguns dos particulares, devido à falta de inspeção (78b 34- 79a 6).

Aristóteles propõe nessas linhas uma nítida divisão do trabalho científico. De um lado, cabe a certo investigador constatar, através da percepção, *que* (*hoti*) certos fenômenos naturais são o caso e se apresentam segundo tais e tais características. De outro lado, porém, cabe ao matemático conhecer a razão ou causa capaz de explicar *porque* aqueles fenômenos são o caso e se apresentam segundo aquelas propriedades pelas quais foram constatados. Aristóteles não se refere, porém, a uma oposição simples entre o conhecimento do *que* e o do *porquê*; antes, ele se refere a uma tripartição mais complexa, na qual o "físico matemático", conhecendo tanto o *que* como o *porquê*, ocuparia uma posição intermediária entre o conhecedor do mero fato empírico e o conhecedor das matemáticas (ver Porchat 2001, p. 220). No entanto, para delimitar com maior precisão os detalhes dessa doutrina, observemos o trecho subseqüente, a partir do qual poderemos compreender melhor o estatuto ontológico das entidades matemáticas e a especificidade epistemológica das ciências que as estudam:

---

6 Temos "*ta optika*", e não "*optike* [*episteme*]".

7 "*ta phainomena*". Não se trata das meras "aparências", mas sim dos fatos ou "aparências" observados e conhecidos pelos marinheiros – como se elucida na seqüência.

> E esses itens [*sc.* os particulares sob o universal] são todos aqueles que, sendo algo distinto em sua essência, utilizam-se das formas; pois as matemáticas são a respeito de formas: pois não são a respeito de um subjacente; pois ainda que a geometria seja [de itens que são] de um subjacente, não obstante, ela não é desses itens enquanto eles são de um subjacente (79a 6-10).

A expressão "de um subjacente" ou "a respeito de um subjacente" (*kath' hypokeimenou*)[8] consiste num jargão recorrente, sobre o qual pairam algumas incompreensões. Poderíamos supor que essa expressão remeteria a qualquer predicado, em sua relação com um sujeito qualquer, conforme o esquema de qualquer sentença predicativa. Ora, é verdade que os itens aos quais Aristóteles atribui a característica de "serem [afirmados] de um subjacente" hão de ser, inevitavelmente, do ponto de vista lógico, predicados. No entanto, com tal expressão, Aristóteles quer dizer algo mais: pois ele utiliza-se dela justamente para assinalar o estatuto de dependência ontológica dos concomitantes, e não de predicados quaisquer. Assim, afirmar que um item *x* é "de um subjacente" consiste em dizer que *x* é um concomitante, isto é, que *x* não é capaz de subsistir separadamente por si mesmo, sem pressupor, como suporte no qual tenha lugar, um subjacente determinado por propriedades que lhe são heterogêneas. Assim, se *x* é *de um subjacente*, *x* existe apenas na medida em que está inerente em alguma outra entidade, isto é – conforme outro jargão que Aristóteles utiliza para este mesmo efeito –, na medida em que é *sendo algo distinto* (*heteron ti on*).[9]

---

[8] Trata-se de uma expressão abreviada, na qual se encontra subentendido um verbo como "*legesthai*" ou "*kategoreisthai*" – não importa qual dos dois, pois com qualquer um deles a expressão, inteiramente explícita ou abreviada, comporta o mesmo significado.

[9] Tratei desse assunto com maior detalhe em Angioni 1998, pp. 94-108.

Assim, um concomitante como o branco apresenta-se no mundo não separadamente por si mesmo, mas apenas enquanto há *algo* branco, a saber, um subjacente que tenha a propriedade de ser branco, mas que seja constituído em si mesmo por outras propriedades, heterogeneamente distintas da propriedade de ser branco. Do mesmo modo, poderíamos afirmar que uma figura qualquer não se apresenta no mundo como uma entidade separada e completa em si mesma, mas apenas enquanto há *algo* com tal figura, a saber, um subjacente corpóreo que tenha tal figura, mas que seja constituído em si mesmo por outras propriedades, heterogeneamente distintas da figura.

No entanto, à primeira vista Aristóteles parece se encaminhar numa direção contrária às nossas expectativas, pois, ao assinalar que as matemáticas "*não* são de um subjacente", parece dar a entender que as entidades estudadas por elas seriam capazes de subsistir separadamente por si mesmas: elas seriam, conforme a terminologia platônica aqui presente, Formas. Não obstante, apesar de fazer uma concessão ao termo platônico, Aristóteles logo em seguida elucida melhor o ponto: a geometria, na verdade, trata de itens que, de um ponto de vista ontológico (mas não sob o ponto de vista em que precisamente se constituem como objetos de estudo para a geometria), *são de um subjacente,* isto é, existem apenas como propriedades inerentes em um subjacente delimitado por um conjunto de *outras propriedades,* heterogêneas em relação às propriedades de que trata a geometria. No entanto, ao circunscrever o seu objeto próprio, a geometria considera tais propriedades não na medida em que elas *são de um subjacente,* mas como se elas fossem separadas de tal subjacente.

Isso se confirma por alguns outros textos. No capítulo inicial do *De Anima,* buscando caracterizar o método apropriado ao estudioso da natureza, Aristóteles afirma o seguinte:

> por sua vez, a respeito daquilo que não é separado, mas não enquanto é afecção de corpo dessa qualidade [sc. do corpo natural] e sim enquanto é por abstração ("*ex aphaireseos*"), é o matemático que se pronuncia" (403b 14-15).

O matemático se pronuncia sobre números, linhas, superfícies, etc. Essas entidades não são separadas, do ponto de vista ontológico, pois não são capazes de subsistir por si mesmas à parte de um subjacente heterogêneo no qual se encontrem. No entanto, do ponto de vista epistemológico, o matemático as considera como se fossem separadas, pois não as assume na medida em que são propriedades ("afecções") inerentes em corpos naturais. Não lhe interessa a relação entre tais propriedades e os corpos que lhes são subjacentes. Assim, ele desconsidera as demais propriedades que caracterizam tal subjacente – principalmente as propriedades que o constituem enquanto corpo natural, a saber, a matéria sensível e a disposição para certo tipo de movimento[10] – e se concentra apenas nas propriedades quantitativas, na medida em que estas, através de um processo de *subtração* (*aphairesis*) seletiva, foram epistemicamente separadas das outras propriedades e relações que as acompanhavam ou que lhes eram concomitantes.[11]

Num trecho célebre da *Física*, Aristóteles propõe a mesma idéia. Ao constatar que certas questões são enfrentadas tanto pelos estudiosos da natureza como pelos que se denominam astrônomos (por exemplo, a questão da esfericidade da Terra e do mundo, etc.), Aristóteles levanta a necessidade de discernir critérios capazes de distinguir o estatuto de cada uma dessas disciplinas. É nesse contexto que ele se pronuncia:

---

[10] A *ousia* natural, ou *ousia* sensível (como Aristóteles também a designa), constitui-se de matéria e forma, e esses dois elementos são entendidos como princípios de movimento (*Física* II 1, 193a 28-31). É por isso que Aristóteles insiste em conceber a matéria e o movimento como características decisivas da *ousia* natural enquanto natural (ver *Metafísica* VI 1, 1025b 34- 1026a 6, VII 11, 1036b 22-30).

[11] Ver *Metafísica* XI, 1061a 28- b 3. Há dúvidas sobre a autenticidade do livro Kappa da *Metafísica*. Não obstante, deve-se admitir que tal trecho descreve com primor o processo pelo qual o geômetra delimita o seu objeto de estudo. Por outro lado, é oportuno observar que o termo "concomitante" ("*symbebekos*") também pode designar uma propriedade que, por acompanhar um determinado sujeito, é justamente objeto de conhecimento científico. Ver *Metafísica* IV 1, 1003a 25, *Física* II 2, 193b 32, *De Anima* I 1, 402a 18, 21, 23.

> Também o matemático se preocupa com essas coisas, mas não enquanto cada uma é limite de corpo natural; nem inspeciona os concomitantes enquanto sucedem aos corpos naturais tomados nesta qualidade [*sc.* enquanto são corpos naturais]; por isso, o matemático as separa: pois, pelo pensamento, [*sc.* as quantidades] são separáveis do movimento, e isso não faz nenhuma diferença, nem, uma vez separadas, surge algo falso (193a 31-35).

Mas se o matemático nada mais faz senão considerar *isoladamente* certas propriedades que existem em conjunção com diversas outras, na constituição das *ousiai* naturais, está de antemão garantida a aplicabilidade de premissas matemáticas para explicar *ao menos* as propriedades quantitativas das *ousiai* naturais (ver Porchat 2001, pp. 220-2). O matemático, no interesse de constituir com maior precisão sua própria ciência, havia separado tais propriedades, considerando-as não como propriedades *pertencentes a ousiai naturais*, mas como se fossem entidades completas e contidas em si mesmas. O estudioso da natureza, por sua vez, busca explicar as propriedades *da ousia natural* e, por isso mesmo, nada mais fará senão devolver ao seu subjacente próprio as entidades que o matemático havia separado. Aristóteles reconhece justamente esse ponto apenas algumas linhas mais adiante:

> E também as mais naturais das disciplinas matemáticas evidenciam isso [*sc.* que as entidades matemáticas são separadas, mas não são Formas], como a ótica, a harmônica e a astronomia: pois elas se comportam de um modo inverso à geometria; pois a geometria, de sua parte, investiga a respeito da linha natural, mas não enquanto natural, ao passo que a ótica, por sua vez, investiga a linha matemática, não enquanto matemática, mas sim enquanto natural (194a 7-12).

A geometria assume como se fosse separado e independente um conjunto de itens que subsistem apenas como concomitantes presentes em *ousiai* naturais. O geômetra estuda as propriedades do contínuo inteligível, mas este contínuo apresenta-se como uma matéria que pertence aos corpos sensíveis, embora não na medida em que eles são considerados como sensíveis.[12] Por sua vez, a ótica assume a linha geométrica como princípio, não para estudar aquilo que lhe pertence em si mesma enquanto linha geométrica, mas antes para estudar aquilo que lhe pertence enquanto propriedade inerente em um corpo natural, considerado segundo um certo aspecto relevante, a saber, enquanto corpo que reflete a luz.

Assim, de um ponto de vista epistemológico, as disciplinas estritamente matemáticas se constituem por um processo de *subtração* pelo qual desconsideram, na *ousia* natural, todas as demais propriedades, com exceção das quantitativas. Por outro lado, as "mais naturais" entre as disciplinas matemáticas já envolvem um *acréscimo* pelo qual são adicionadas às propriedades estritamente quantitativas também certas outras, que caracterizam mais propriamente a *ousia* natural enquanto natural. A propriedade de refletir a luz, por exemplo, pressupõe a propriedade de ser um corpo constituído por uma matéria sensível e suscetível a um certo tipo de movimento. Assim, para que se constitua o objeto próprio da ótica, acrescenta-se à grandeza contínua puramente inteligível, objeto da geometria,[13] uma propriedade que envolve como pressuposto as propriedades pelas quais o corpo natural se apresenta enquanto natural.

III

A relação entre subtração (*aphairesis*) e acréscimo (*prosthesis*) é fundamental para compreendermos a posição aristotélica com respeito à possibilidade de um estudo matemático da natureza. Vejamos o seguinte texto dos *Segundos Analíticos* I 27:

> A [ciência] que não é *de um subjacente* é mais exata e anterior àquela que é *de um subjacente*, por exemplo, a aritmética [sc. é mais exata que

---

[12] Ver *Metafísica* VII 10, 1036a 11-12.

[13] Aristóteles jamais afirma explicitamente que o objeto da geometria é a grandeza contínua. No entanto, ver as seguintes passagens: *A. Po.* 76a 36, 88b 29; *Metafísica* 1061b 24-25. A respeito do contínuo, ver *Metafísica* VII 11, 1036b 9-10.

> e anterior] à harmônica, e aquela que é a partir de um menor número [*sc.* de princípios] [*sc.* é mais exata que e anterior] à que é a partir de acréscimo, por exemplo, a aritmética [*sc.* é mais exata que e anterior] à geometria. Eis o que quero dizer por "a partir de acréscimo": a unidade é uma essência sem posição, mas o ponto é uma essência dotada de posição; este é por acréscimo (87a 33-36).

Aristóteles assinala uma maior exatidão não apenas à ciência que *não é* a partir de acréscimo e que envolve um menor número de princípios, mas também à ciência que *não* é de um subjacente. Ora, neste contexto (como já vimos a respeito de 79a 6-10), "ser ou não ser de um subjacente" não se refere ao estatuto ontológico dos objetos que constituem o assunto de uma ciência. Longe disso, tais expressões remetem ao estatuto epistemológico de cada ciência; portanto, se diz que *não é de um subjacente* aquela ciência que considera o seu objeto como se ele fosse separado em si mesmo, independentemente da relação que ele venha a ter com um subjacente que lhe é heterogêneo, ainda que tal relação seja ontologicamente necessária (como é o caso nas matemáticas). Em contrapartida, se diz que *é de um subjacente* aquela ciência que considera o seu objeto precisamente sob alguma relação existente entre o mesmo e o subjacente a que ele se atribui.

Ora, toda ciência tem por princípio próprio justamente a definição do objeto preciso a respeito do qual se pronuncia (ver *A. Po.* 76a 31-36, b 3-6). Assim, quanto mais simples for esse objeto, mais exatos serão os seus princípios. A ciência que *não é de um subjacente* assume como objeto tão apenas as propriedades separadas pelo processo de *aphairesis*. Por isso, os princípios que lhe são próprios não envolvem, além da definição dessas propriedades, nenhuma relação das mesmas com um subjacente que lhes seja externo. Por outro lado, a ciência que *é de um subjacente* assume como objeto alguma relação relevante entre as propriedades e o subjacente a que ontologicamente pertencem. Por isso, ela toma como princípio não apenas as definições dessas propriedades (que podem ser separadas pela *aphairesis*), mas também a definição de outros itens, pelos quais se configura a relação entre aquelas e o subjacente que lhes condiz. Assim, em comparação com a ciência que *não é de um subjacente*, a ciência que *é de um subjacente* envolve uma adição de princípios suplementares, pelos quais se torna menos exata e posterior à ciência que *não é de um subjacente*, a qual, por sua vez, envolve o princípio anterior capaz de explicar *por que* o objeto da outra se comporta de tal e tal maneira. Assim sendo, a consideração do subjacente deve ser entendida como um *acréscimo* e, em contrapartida, os princípios da ciência que desconsidera o subjacente devem ser entendidos como condições necessárias, mas não suficientes, à plena explicação do objeto estudado pela ciência que é *de um subjacente*.

Esta seria a relação, por exemplo, entre a aritmética e a harmônica. Aristóteles sugere, porém, que até mesmo a aritmética e a geometria estariam relacionadas de modo semelhante. Neste caso, porém, há uma diferença: ambas as ciências *não são de um subjacente*, pois consideram as propriedades quantitativas nelas mesmas e não enquanto pertencem aos corpos naturais. A primeira, no entanto, considera apenas a quantidade discreta, ao passo que a outra já envolve um princípio adicional, que é a *posição no contínuo inteligível*.

Não cremos que a noção de *acréscimo* seja um critério restrito à diferenciação entre aritmética e geometria. É verdade que a noção de *ser de um subjacente* funciona como critério para delimitar as fronteiras entre as matemáticas "puras' (aritmética e geometria) e "as mais naturais entre as matemáticas" (como a harmônica). No entanto, também a noção de acréscimo contribui para a delimitação dessas fronteiras, pois, como dissemos, também a consideração pelo subjacente deve ser entendida como um acréscimo de novos princípios. Ora, a *prosthesis* é justamente o inverso da *aphairesis*. Assim, quanto maior é a *aphairesis*, mais simples é o objeto da ciência e mais exata é a própria ciência. Por outro lado, quanto maior é a *prosthesis*, mais complexo se torna o objeto da ciência, que passa a exigir um maior número de princípios, em virtude dos quais a ciência se torna menos exata. A relação entre estas duas noções – *subtração* e *acréscimo* – permite-nos conceber um painel hierárquico no qual diversas ciências se sucederiam conforme o respectivo grau de exatidão, de tal modo que os princípios da ciência anterior apresentar-se-iam como condições necessárias, mas não suficientes, para explicar o objeto da ciência seguinte.

IV

Diante desse quadro, o problema da aplicabilidade de princípios matemáticos às ciências da natureza pode receber um tratamento mais civilizado. As tradicionais acusações movidas contra Aristóteles geralmente confundem numa única formulação genérica questões bastante diversas entre si, para as quais Aristóteles daria respostas diferenciadas:

(i) uma questão bastante genérica consiste em saber se Aristóteles admite a possibilidade de *matematizar o fenômeno natural*, isto é, introduzir um modo de mensuração quantitativa que permitisse a aplicação de princípios matemáticos na resolução de certos problemas.

(ii) uma questão mais precisa, no entanto, consiste em saber se Aristóteles admite a possibilidade de utilizar princípios matemáticos como *causas auxiliares* e *condições necessárias* nas explicações de certos fenômenos naturais.

(iii) outra questão, enfim, consiste em saber se Aristóteles admite a possibilidade de *reduzir* todo fenômeno natural a um conjunto de relações puramente matemáticas, como se os princípios matemáticos fossem condições não apenas necessárias, mas também suficientes para explicar tais fenômenos.

Ora, é apenas para a questão (iii) que Aristóteles oferece uma resposta negativa: ele não admitiria a redução do fenômeno natural a relações puramente matemáticas, assim como não admite a redução generalizada de propriedades qualitativas a propriedades quantitativas. No entanto, podemos provar que, em diversos domínios, Aristóteles oferece respostas positivas às questões (i) e (ii).[14]

Comecemos com a ótica: trata-se de uma ciência que faz a intermediação entre o fenômeno natural constatado empiricamente e o princípio matemático capaz de explicá-lo. Aos que cuidam das percepções empíricas, cumpre constatar o fato de *que* tal ou tal fenômeno é o caso; ao matemático, por sua vez, compete conhecer, em si mesmas, as relações geométricas capazes de explicar *por que* tal fenômeno é o caso, mas não lhe compete conhecer em particular os fenômenos naturais a que podem ser aplicadas tais relações. A ótica, no entanto, não se limita nem a uma mera constatação empírica do fenômeno natural, nem ao conhecimento *a priori* de uma relação matemática virtualmente aplicável ao fenômeno natural; pelo contrário, o que caracteriza o ótico enquanto ótico é justamente o fato de conhecer não apenas o *que*, mas também o *porquê*, como se evidencia pelo seguinte trecho:

> E no que respeita à ótica, assim como ela se comporta em relação à geometria, há outra que assim se comporta em relação a ela, tal como aquilo que concerne ao arco-íris: pois conhecer o *que* pertence ao estudioso da natureza, ao passo que conhecer o *porquê* pertence ao ótico, ou simplesmente sem mais, ou conforme a matemática (79a 10-13).

À primeira vista, essa passagem oferece algumas dificuldades, pois parece sugerir duas perspectivas contraditórias: de um lado, a ótica se restringiria a constatações factuais, sem conhecer a causa, que cairia, então, sob

---

[14] Ver uma perspectiva semelhante em Hussey [1991], pp. 213-214, 239-242. Também De Gandt 1991, pp. 97-8, 103, admite que as "regras de proporcionalidade" na análise da *kinesis* levam Aristóteles aos "rudimentos de uma matematização", de modo que pelo menos a resposta à questão (i) seria positiva, da parte de Aristóteles. Balme 1992/72, pp. 98-99, admite que o problema principal que interessa a Aristóteles é a questão (iii). No entanto, ele exagera, ao dizer que "applied mathematics is of no use in zoology" (p. 98) e ao sugerir que Aristóteles consideraria "impractible" um conhecimento quantificado da matéria (p. 99). Mas o próprio Balme muda de opinião em 1987, p. 283.

a exclusiva responsabilidade do geômetra; de outro lado, a mesma ótica seria responsável apenas pelo conhecimento da causa, como se constatações de fatos caíssem sob a responsabilidade exclusiva do estudioso da natureza. No entanto, não há nenhuma contradição.

Devemos lembrar que as expressões "*que*" e "*por que*" comportam lacunas, a serem preenchidas pelas proposições concernentes aos fatos, dos quais se sabe *que* são o caso e *por que* são o caso. Cumpre lembrar também que saber *por que* um fato é o caso consiste em conhecer a sua causa: o que ela é e, naturalmente, *que* ela é o caso (cf. *A. Po.* II 2, 89b 38- 90a 9). A partir disso, duas observações devem ser sublinhadas. Em primeiro lugar, uma mesma proposição pode preencher as lacunas de ambas as expressões, "*que*" e "*por que*". Podemos saber (por exemplo) *que* "a soma interna dos ângulos de um triângulo é igual a dois ângulos retos" (doravante, 2R), assim como podemos saber *por que* 2R. Por outro lado, um fato complexo, expresso numa proposição e deduzido a partir de uma causa anterior, pode ser ele mesmo, considerado sob outro aspecto, causa capaz de explicar *por que* outro fato é o caso. Isso quer dizer que a mesma proposição pode ser conclusão em um silogismo, mas premissa em outro silogismo, subordinado ao primeiro. Assim, por exemplo, 2R é um fato que se deduz a partir de causas anteriores, mas, sob outra relação, ele pode ser a razão capaz de explicar por que certas propriedades se atribuem aos corpos físicos, capazes de refletir a luz.

Assim sendo, poderemos igualmente saber *que* tais corpos possuem tais e tais propriedades e *por que* eles as têm. Ora, o estudioso da natureza simplesmente constata *que* tal fato é o caso. O ótico, por sua vez, conhece o *porquê* ele sabe que há certos fatos geométricos capazes de explicar tal comportamento dos corpos naturais. No entanto, o ótico assume essa *causa* apenas como um *fato já demonstrado* por uma ciência superior. Ele sabe *que* 2R, mas não sabe *por que* 2R.

Portanto, não há nenhuma contradição nas afirmações de Aristóteles, que restringem a ótica ao conhecimento do *que* para logo em seguida atribuir-lhe o conhecimento do *porquê*. Pois as proposições que preenchem respectivamente as lacunas do "*que*" e "*porquê*" não são as mesmas.

Mas, afinal, em que consiste a ótica? Aristóteles concebe uma divisão do trabalho científico na qual haveria, inicialmente, um estudioso da natureza encarregado de descrever os fatos naturais de acordo com as propriedades que os caracterizam enquanto naturais. A um tal estudioso caberia recolher, através da percepção, o conjunto de propriedades que permitem identificar de modo minimamente satisfatório um fenômeno a ser ulteriormente explicado. No entanto, para certos conjuntos de fenômenos, seriam explanatoriamente irrelevantes alguns dos princípios que definem o ente natural enquanto natural: as causas deveriam ser procuradas em algum registro mais específico. É aqui que se inicia o trabalho *intermediário* do ótico: ele assume como pressuposto o fato constatado pelo estudioso da natureza e o explica "conforme a matemática", da qual recebe conclusões capazes de explicar o fato natural.

No entanto, para delimitar o contraste entre o ótico e o geômetra, não basta afirmar que o primeiro conhece o *que*, ao passo que o segundo conhece o *porquê* – e isso, por duas razões. Em primeiro lugar, aquele que sabe *por que* necessariamente também sabe *que*, quando as duas lacunas são preenchidas pela mesma proposição, pois é impossível perguntar *por que*, se não se sabe previamente *que* é o caso.[15] O geômetra, portanto, sabe *que* 2R e *por que* 2R.

---

[15] Ver *A. Po.* II 8, 93a 16-19, II, 2 89b 38- 90a 1, *Met.* VII 17, 1041a 15-16, 23-24). Em 76a 11-13 e 79a 2-4, Aristóteles parece sugerir que seria possível conhecer o *porquê* sem conhecer o *que*: pois ele parece restringir a harmônica (entre outras) ao conhecimento do *que* e, por outro lado, a aritmética ao conhecimento do *porquê* . Ocorre que, neste caso, Aristóteles utiliza o "*porquê*" não como uma expressão com lacuna a ser preenchida, mas como uma designação que remete a algum item particular. O fato de que "2+8 = 2.5", por exemplo, pode ser uma *causa* que explica *por que* certos fatos harmônicos são o caso. Assim, esse fato poderá ser designado como o "*porquê*" dos

Em segundo lugar, saber meramente *que* não configura nenhum conhecimento científico, pois este se delimita pelo discernimento das causas, pelo conhecimento do *porquê*.[16] Assim, não faz sentido dizer que a ótica é uma ciência do *que*, como se ela meramente constatasse fatos e não conhecesse a causa dos mesmos. Se assim fosse, ela não mereceria o nome de ciência.

Assim, para caracterizar a ótica, devemos entender que ela é um conhecimento do *que* na medida em que recebe, como princípios a serem utilizados em suas explicações, as conclusões já demonstradas pela geometria. Ela não precisa remontar às razões que explicam *por que* tais conclusões são o caso, pois não é essa a sua competência específica. Não obstante, ela assume tais conclusões como causas capazes de explicar certos fatos concernentes aos corpos naturais. Assim, ela é conhecimento do *porquê* na medida em que fornece as razões que explicam certos fatos naturais, mas, visto que é impossível saber *por que*, se não se sabe *que*, ela é também conhecimento do *que*, na medida em que conhece o fato natural constatado pela percepção e a ser explicado pelo recurso à lei geométrica.

Desse modo, o trabalho *constatativo* do estudioso da natureza encontra-se de certo modo subsumido na ótica, ao menos parcialmente, no que se refere às constatações concernentes ao objeto preciso em torno do qual se configuram as demonstrações da ótica. Assim, a ótica, considerada por Aristóteles como uma das "mais naturais entre as matemáticas", também pode ser considerada como uma das "mais matemáticas entre as naturais". Ela é mais natural do que as matemáticas puras porque envolve a aplicação das

---

fatos harmônicos (isto é, a "causa" dos mesmos), mas o aritmético não o conhece *enquanto ele é uma razão que explica por que o fato harmônico é o caso*, antes, ele o conhece enquanto fato aritmético que se explica por uma *razão aritmética*. E com relação a esse fato de que "2+8=2.5", o aritmético conhece tanto o *que* como o *porquê*. Assim, se "*que*" e "*por que*" fossem expressões com lacunas, no contraste oferecido em 76a 11-13 e 79a 2-4, as proposições que as preencheriam não seriam as mesmas, como mostraremos a seguir.

[16] Ver *A. Po.* I 2, 71b 9-12, 30-31, II 11, 94a 20, *Fís.* I 1, 184a 10-14.

conclusões matemáticas aos fatos naturais. No entanto, o que lhe compete conhecer cientificamente é o fato natural: pois conhecer é conhecer pela causa, e é o fato natural que ela conhece, ao explicá-lo a partir de sua causa. Assim, ela é uma das mais matemáticas entre as ciências naturais porque conhece um fato natural na medida em que o explica mediante uma razão matemática.

No entanto, devemos agora observar atentamente o estatuto dessas causas, para compreender claramente de que modo Aristóteles concebe a possibilidade, ou mesmo a necessidade, de aplicar princípios matemáticos no estudo da natureza. É importante ressaltar que o painel acima delineado não permite uma redução do fato natural a fatos geométricos; pois, para que o ótico compreenda exaustivamente o fenômeno que lhe compete explicar, não lhe basta considerar tão- somente as relações geométricas, pois estas *não são suficientes para deduzir o caso em questão*. A compreensão exaustiva do fenômeno envolve também um conhecimento que não se reduz a tais relações, a saber, o conhecimento de algumas propriedades pelas quais o fenômeno natural se constitui enquanto natural. Assim, o ótico considera princípios adicionais que se acrescentam aos princípios da geometria: ele assume que os corpos naturais – que se encontram submetidos às mesmas relações matemáticas que o geômetra considera como propriedades do contínuo inteligível – possuem também a propriedade de serem constituídos por uma matéria sensível, capaz de refletir a luz.[17]

Vemos, portanto, que Aristóteles reconhece a possibilidade, ou mesmo a necessidade, de utilizar princípios matemáticos na explicação de fenômenos naturais. Tais princípios, no entanto, desempenham a função de condições ne-.

[17] Uma similar divisão de responsabilidades entre as ciências ocorreria também em outros domínios, como se evidencia pela passagem subseqüente: "E se comportam assim deste modo também muitas das ciências que não estão uma sob a outra, por exemplo, a medicina com relação à geometria: pois cabe ao médico saber *que* as feridas circulares se curam mais lentamente, ao passo que cabe ao geômetra conhecer o *porquê*" (79a 13-16).

cessárias, mas não suficientes, às quais devem ser acrescentados, em vista da compreensão exaustiva do fenômeno, outros princípios, concernentes a propriedades qualitativas. Aristóteles, assim, responderia negativamente à questão (iii), mas responderia afirmativamente às questões (i) e (ii).

V

Também em outros contextos evidencia-se que Aristóteles atribui aos princípios matemáticos o papel de causas auxiliares e condições necessárias na explicação de fenômenos naturais. No *De Caelo*, ao se dirigir contra a "derivação matemática dos elementos naturais", Aristóteles argumenta que o corpo natural, embora esteja submetido aos mesmos princípios que regem as grandezas puras, contempladas pelas matemáticas, envolve o acréscimo de outras propriedades, que não podem ser obtidas a partir de premissas matemáticas (cf. 299a 15-17). Ao invés de se pronunciar generalizadamente contra a "introdução da matemática no reino da física",[18] ele apenas se pronuncia contra uma perspectiva redutivista que considerasse o princípio matemático como condição suficiente para gerar, em sua totalidade, o corpo natural. Vejamos o seguinte texto:

> Ora, se é impossível que, quando nenhuma das partes não comporta peso algum, ambas juntas comportem peso, e se os corpos sensíveis (todos eles ou alguns) comportam peso (por exemplo, a terra e a água, como inclusive eles mesmos diriam), e se o ponto não comporta peso algum, é evidente que tampouco as linhas comportariam algum peso; mas se estas não o comportam, tampouco as superfícies o comportam; conseqüentemente, tampouco nenhum dos corpos comportaria peso (299a 25-30).[19]

[18] A expressão é de Solmsen 1960, p. 260.

[19] O argumento parece envolver um jogo de palavras entre as duas acepções de "*soma*": sólido geométrico e corpo natural. Aristóteles está justamente acusando o adversário de *confundir* ambas as acepções numa só, ou melhor, *reduzir* a segunda à primeira, e extrai as conseqüências absurdas dessa tentativa. Ver também *De Caelo* 298b 33- 299a 11, 300a 7-12. Em várias passagens, "*soma*" e "*stereon*" são utilizados de

Contra certa teoria platônica, que concebia linhas como composições de pontos, superfícies como composições de linhas, sólidos como composições de superfícies e, enfim, corpos naturais como composições de sólidos geométricos,[20] Aristóteles objeta apenas o seguinte: os corpos naturais comportam peso e, por isso, não podem ser *gerados* simplesmente a partir de grandezas geométricas, como se estas fossem condições suficientes para a constituição dos mesmos. As grandezas geométricas, enquanto geométricas, são separadas da matéria sensível e da disposição para o movimento, que são as propriedades que constituem o corpo natural enquanto natural. O peso, por sua vez, embora possa ser medido quantitativamente, consiste numa propriedade qualitativa pela qual o corpo se constitui *enquanto corpo natural*, isto é, enquanto corpo constituído por uma matéria sensível e dotado de uma certa disposição para o movimento.[21] No entanto, o fato de não poderem ser gerados somente a partir de grandezas não implica que os corpos naturais, enquanto naturais, não estejam submetidos às mesmas leis geométricas que explicam suficientemente as propriedades das grandezas matemáticas; pelo contrário, o próprio fato de a forma matemática ser abstraída do corpo natural evidencia que este último encontra nas leis pura-

modo intercambiável: *De Caelo* 298b 34, 299a 3 e 7; *Metafísica*, 992a 13-14; 1028b 17-18. Ver também, para a origem pitagórica dessa perspectiva, *Metafísica* 990a 8-16.

[20] Ver *Metafísica* 1085a 31- b 4 (provavelmente descrevendo a posição de Espeusipo, ver Annas 1976, p. 185); 1090b 5-7; 992a 10-24; 1065a 16-23; 1001b 17-19; 1077a 34-35.

[21] Aristóteles admite que o peso comporta o *mais e o menos* (ver, por exemplo., *De Caelo* 299a 31-b 1). E embora às vezes conceba a leveza como uma qualidade oposta, delimitada pela disposição ao movimento contrário (pois é leve aquilo que naturalmente vai para o alto), Aristóteles concebe um registro no qual se poderia entender a leveza como mera privação de peso, mensurável conforme uma mesma escala. Ver *De Caelo* 308a 7-17. Em *De Caelo* 301a 26- b 17, o argumento requer que compreendamos a leveza como *privação de peso*, de modo que "peso" e "leveza", na verdade, seriam nomes pragmáticos para diferentes momentos de uma escala de grandeza única, que começaria do zero e admitiria apenas grandezas positivas. Ver também 299a 26-b 4.

mente geométricas condições necessárias sem as quais não pode se constituir e ser explicado. Pois aquilo que sucede com respeito aos "itens por abstração" se aplicará também aos "itens por acréscimo" – até mesmo as impossibilidades –, embora a inversa não seja verdadeira (cf. 299a 15-17).

VI

Vejamos também este outro texto do *De Caelo*, que se insere na argumentação contra o "heliocentrismo" (ou "pirocentrismo") pitagórico:

> Como se o meio fosse enunciado de maneira única e simples,[22] e como se o meio da grandeza fosse também o meio da coisa e da natureza. No entanto, tal como nos animais não são idênticos o meio do animal e o meio do corpo, é assim do mesmo modo que se deve conceber também, com mais razão ainda, no que concerne ao céu inteiro (293b 4-8).

Não há necessidade de reconstituir aqui toda a argumentação contra a tese de que o fogo estaria no centro do universo. Interessa-nos tão apenas observar que Aristóteles, longe de proibir "a introdução da matemática no reino da física", novamente aponta para a necessidade de considerar *em acréscimo* certos princípios que delimitam o objeto natural enquanto natural. Neste caso, o princípio suplementar é fornecido pela biologia e – apesar da conhecida dicotomia entre mundo celeste e mundo sublunar –, aplica-se também ao universo como um todo, na medida em que este se apresenta como um objeto natural. Este princípio, que Aristóteles certamente obteve por indução, a partir de suas experiências com a dissecção dos animais, reza que o *meio* do animal é o *centro funcional*, a partir do qual se organizam de maneira articulada as atividades características do animal. Este centro – que para Aristóteles é o lugar do coração (ver *Partes dos Animais* 647a 24- b 9; 667b 17-28; 670a 24-26) – não se localiza necessariamente no "meio geométrico" do corpo do animal (cf. *Partes dos Animais* 665b 18-23). Daí infere-se que não há uma exata equivalência entre as propriedades geométricas e as propriedades especificamente naturais do corpo do animal.[23] Nessa perspectiva, o engano que Aristóteles aponta na tese pitagórica é justamente este: assumir como equivalentes, ou ao menos coincidentes, as propriedades estritamente geométricas e as propriedades naturais do fenômeno a ser explicado e, além do mais, presumir que estas últimas pudessem ser reduzidas àquelas primeiras – como se as propriedades geométricas fossem condições suficientes para a geração das propriedades naturais.

VII

Passemos agora ao caso da biologia, que é o ramo no qual Aristóteles desenvolveu a parte mais substancial de suas investigações propriamente científicas. Também a relação entre biologia e matemática poderá ser entendida, ao menos parcialmente, através da noção de acréscimo de princípios suplementares, conforme o modelo sugerido em *A. Po.* I 27. Não obstante, como veremos, no domínio da biologia, os princípios matemáticos não mais poderão exercer o papel de causas preponderantes na explicação do *porquê*

No mesmo capítulo da *Física* em que introduz as "mais naturais" das disciplinas matemáticas, Aristóteles se esforça por caracterizar a especificidade da ciência natural, em contraste com as matemáticas (194a 1-7). A questão que lhe urge enfrentar consiste em defender os direitos da ciência da natureza, contra certa perspectiva que pretendia absorvê-la inteiramente dentro das matemáticas. Essa perspectiva é representada pelo exemplo do "curvo" ("*kampylon*"). Seus defensores pretendiam que também os entes

---

[22] Ou "como se 'meio' fosse usado conforme apenas um único significado" (ver a tradução de Moraux 1965).

[23] Novamente, Aristóteles acusa o argumento adversário de confundir as duas acepções de "*soma*" ao tentar *reduzir* a noção de corpo natural à noção de sólido geométrico. Ver nota 19.

naturais pudessem ser definidos conforme uma entidade geométrica, com eliminação da matéria e do movimento, e por redução a Números Ideais (cf. 1036b 7-17, 22-23). Contra essa perspectiva, Aristóteles objeta que os entes naturais não podem ser definidos sem a matéria e o movimento (Z-11, 1036b 22-32) e, para representar essa sua alternativa, adota o exemplo do "achatado" ("*simon*") como paradigma para as definições na ciência da natureza (cf. *Metafísica* VI 1, 1025b 34- 1026a 6).[24]

No entanto, isso não significa que Aristóteles esteja banindo a matemática do reino da ciência natural e da biologia. Em última instância, ele admite a necessidade de recorrer às matemáticas para explicar certas características dos seres vivos. Na proposta hilemórfica que ele desenvolverá, a preponderância explanatória recai sobre as funções, sem, no entanto, excluir a consideração pelas propriedades da matéria elementar e – o que é mais importante para o nosso caso – sem excluir um cômputo quantificado dessas propriedades e suas relações recíprocas.

Concentremo-nos na figura que o hilemorfismo assume como modelo de explicação adequado ao domínio da biologia (cf. *Met.* VII 7, 1032a 19 e VIII 3, 1043b 21-23). Conforme esse modelo, o investigador interessado em conhecer cientificamente os seres vivos deve conceder primazia às funções, admitindo que um conjunto articulado de funções tem o poder de delimitar

---

[24] Ver traços dessa discussão também em *Met.* VIII 3, 1043a 29- b 4, 1044a 7-9, 13, e *De Anima* III 3, 429b 10-22. O hilemorfismo, como modelo de explicação adequado ao domínio dos entes naturais, é proposto por Aristóteles como alternativa entre duas perspectivas unilaterais diametralmente opostas: de um lado, a perspectiva platônica que pretendia reduzir o ente natural a Números Ideais, eliminando a matéria e o movimento; de outro lado, a perspectiva de alguns fisiólogos (Empédocles, mas sobretudo Demócrito), que pretendia reduzir o ente natural a composições resultantes do movimento espontâneo da matéria elementar (tratei desse assunto com algum detalhe em Angioni 2000). É interessante notar que as perspectivas platônica e pré-socrática estão em campos opostos: não parece justo, portanto, pretender que o recurso platônico às matemáticas possa ser entendido como uma tentativa de medir, conforme a observação controlada, o movimento da matéria (ver nota 35, adiante).

a natureza essencial de um ser vivo;[25] em seguida, ele admite que essas funções exigem, como condições necessárias à sua plena efetividade, um conjunto articulado de propriedades materiais;[26] essas propriedades materiais, por sua vez, envolvem a mistura dos quatro elementos conforme uma razão determinada.[27] Nesse sentido, a plena compreensão científica de um ser vivo exige a especificação de uma relação matemática: a proporção de mistura segundo a qual os quatro elementos adquirem as propriedades requisitadas para as funções do organismo.[28] Aristóteles, no entanto, não admite que a natureza ou *ousia* de um ser vivo – isto é, a sua alma[29] – possa ser *reduzida* a essa proporção da mistura. No entanto, o fato de rejeitar a identificação redutivista entre alma e proporção de mistura (como ocorre na discussão da tese de que a alma seja uma *harmonia*, em *DA* I 4, 408a 13-28) não implica que Aristóteles as considere como noções incompatíveis, como se fosse possível delimitar exaustivamente o que é a alma sem mencionar a necessidade de uma certa proporção de mistura. Esta última, portanto, deve ser preservada como *causa auxiliar* ("*synaition*", *DA* II 4, 416a 14) e, enquanto tal, será

25 Ver *Partes dos Animais* I 1, 640b 17- 641a 5. A primazia das funções é freqüentemente elucidada pelo modelo dos artefatos (ver *Física* II 9, 200a 5- b 8) e estende-se até mesmo aos elementos materiais (ver *Meteorologica* IV 12, 390a 10-20).

26 Ver *Partes dos Animais* I 1, 639a 33-35, 642a 9-13 e, sobretudo, 646b 14-25; ver também 639b 26-27 e *Física* II 9, 200a 5-15, b 1-8.

27 Ver *De Anima* 408a 14-15, 416a 13-18.

28 Ver Balme 1987, p. 283. A "proporção de mistura" ("*logos tes mixeos*") é citada nominalmente por Aristóteles poucas vezes e, além do mais, destina-se a descrever a posição de Empédocles: ver *Partes dos Animais* 642a 18-22, *De Anima* 408a 13-28. No entanto, nestas duas passagens, mais do que *rejeitar por completo* a teoria de Empédocles, Aristóteles aponta-lhe a insuficiência: ele nega a *redução*, mas não nega a pertinência de estabelecer um *logos matemático* como condição necessária para descrever o ente natural. Ver também *De anima* 416a 11-18.

29 Ver *De Anima* II 4, 415b 11-14, *Partes dos Animais* 641a 17-18.

mencionada no enunciado definitório que explica por que o ser vivo é precisamente tal como é.[30]

Portanto, também no domínio da biologia, Aristóteles responderia negativamente à questão (iii) acima mencionada, pois não admitiria que a essência de um ser vivo pudesse ser *reduzida* a relações puramente matemáticas, como se estas fossem *suficientes* para explicá-lo. Deve-se acrescentar que Aristóteles também não dispunha de instrumentos conceituais capazes de viabilizar uma mensuração satisfatória dessas relações, e tampouco parece ter se preocupado com a necessidade de criá-los urgentemente. Não obstante, a partir destas duas posições – a tese da *irredutibilidade* e a falta de interesse imediato na ampliação dos recursos de medida quantitativa –, não é lícito inferir que Aristóteles tenha sido inteiramente avesso à utilização de princípios matemáticos na explicação dos seres vivos; ou seja, não é lícito pretender que Aristóteles tenha respondido negativamente também às questões (i) e (ii) acima mencionadas.[31]

VIII

Para completar o quadro e desmentir por completo a acusação tradicional dirigida a Aristóteles, observemos que tampouco é justo associar a "proibição da metabase" a um completo desprezo pela observação.[32] A

---

[30] As evidências para essa tese no texto de Aristóteles não são translúcidas e cristalinamente explícitas, mas podem ser reconstruídas a partir de discussões como as que encontramos em *De Anima* 416a 9-18, *Física* 200a 30- b 8. Por outro lado, é oportuno lembrar que, para Aristóteles, conhecer *o que é* consiste em conhecer a causa que explica *por que é*; cf. *A. Po.* II 2, 90a 14-15, II 8, 93a 3-4.

[31] Ver Hussey 1991, pp. 241-242, para quem as leis de proporcionalidade que Aristóteles estabeleceu na análise do movimento já seriam "a triumph of creative theorizing married to... respected for the observable facts" e "in spite of a lack of accurate observations and of sophisticated mathematical techniques" (p. 241), que não estavam disponíveis em sua época.

[32] A associação entre proibição da *metabase* e desprezo pelo papel científico da observação é sugerida por Duhem 1969, pp. 7, 21. Também Moraux 1960, p. 179-185,

mencionada acusação freqüentemente vem acompanhada por um elogio de posições adversárias das quais Aristóteles teria se afastado, como se Platão, Demócrito e outros tivessem tomado como questão central de suas preocupações epistemológicas justamente o problema da adaptação da matemática às evidências empíricas.[33] Ora, por um lado, Porchat tem razão, ao afirmar que, para Aristóteles, o problema "da adaptação permanente das matemáticas à experiência não constituía uma fonte de aporias" (2001, p. 223). No entanto, essa afirmação é ainda mais justa a respeito dos adversários contra os quais Aristóteles argumenta.

Em primeiro lugar, ainda que a adaptação entre o conhecimento matemático e a evidência empírica não tenha sido o centro das preocupações de Aristóteles na ciência da natureza, ela é reconhecida como problema, em alguns contextos particulares. Vejamos o seguinte texto:

> E de modo semelhante se disputa a respeito da figura [*sc.* da Terra]: pois a uns ela parece ser esférica, ao passo que, a outros, parece ser plana e ter o formato de um tambor. E como prova esmeram que, ao se pôr e ao nascer, o sol sofre por parte da Terra um ocultamento retilíneo, e não esférico – como sendo necessário que, se ela fosse esférica, o corte [a secante] viesse a ser curvilíneo – mas não levam em consideração a distância do sol em relação à Terra, nem o tamanho da circunferência, que de longe se manifesta com aparência retilínea nos círculos que parecem pequenos. Portanto, não é preciso que, devido a esta aparência, eles desconfiem que o volume da Terra não seja esférico (293b 32- 294a 8).

Este texto descreve uma situação de conflito entre, de um lado, evidências empíricas constatadas pelo senso comum ordinário e, de outro, pro-

---

pretende haver uma relação íntima entre o desprezo pela observação e a (suposta) subordinação da astronomia à teologia e à física terrestre, não às matemáticas. Essa subordinação, contrária à matematização do fenômeno físico, seria prova de que Aristóteles teria preferido "especular a observar" (Moraux 1960, p. 182).

[33] Ver Robin 1948, pp. 390-310, 370. Ver Duhem 1969, pp. 6, 20-21. De outro lado, Moraux 1960, p. 185, sustenta que o menosprezo pela observação sensível na explicação dos fenômenos celestes remontaria a Platão.

posições científico-filosóficas a respeito da estrutura do mundo. Pela nossa percepção de todos os dias, vemos que é retilínea a linha que delimita o ocultamento do sol "sob a superfície da Terra" (supondo-se, é claro, um horizonte plano). Daí o senso comum ordinário poderia se mostrar satisfeito com a proposição de que a Terra é plana (com a forma de um disco ou de um tambor). No entanto, outros fatos e razões convidam o filósofo a propor a tese de que a Terra seja esférica – inclusive a premissa "matemática" de que a esfera é a mais perfeita das figuras (ver *De Caelo* 286b 11-18 ss.). O conflito entre essa proposição científico-filosófica e as aparências ordinárias deverá ser mediado e decidido pela matemática e, mais propriamente, pela geometria: esta ciência, assim, estabelece que um segmento de linha que delimita uma circunferência tenderá a ser retilíneo, se o seu tamanho for desproporcionalmente menor que o tamanho da própria circunferência – como ocorre no presente caso, em que o tamanho do segmento da linha que delimita a circunferência da Terra é determinado pela intersecção com o círculo solar, o qual, para nós, que o vemos "de longe", se afigura extremamente pequeno em comparação com a circunferência da Terra.

Não podemos dizer que Aristóteles tenha se preocupado fundamentalmente com o problema da adaptação entre matemática e experiência, sobretudo porque ele não teve como preocupação central a descoberta de novas evidências empíricas através da experimentação sistemática. No entanto, mais do que seus adversários, ele concebeu claramente que a matemática deveria funcionar como um recurso capaz de preservar e explicar satisfatoriamente os fenômenos constatados pela observação empírica.[34]

Por outro lado, a respeito de tais adversários, é falso pretender que as matemáticas tenham sido assumidas como instrumentos de mensuração a

[34] Ver Lloyd 1979, pp. 137, 177, n. 244. Assim, ainda que seja verdade que Aristóteles não tenha submetido as percepções em geral ao crivo da dúvida cética, e ainda que seja verdade que Aristóteles não tenha se preocupado com a construção de instrumentos sofisticados de observação, não podemos concordar com Le Blond 1939, para quem "Aristote n'a pas l'idée d'une critique de la perception sensible ordinaire. Il n'a pas l'idée nos plus de l'importance des mesures exactes" (p. 229).

serem utilizados juntamente com a observação, ou como recursos destinados a aprimorar-lhe a exatidão, ou como princípios que deveriam buscar explicar seus resultados.[35] Longe disso, as matemáticas são assumidas como princípios *a priori* para a dedução de conclusões muitas vezes não respaldadas pela experiência. A observação, neste caso, não teria papel preponderante no estabelecimento de evidências preliminares destinadas a delimitar o conjunto dos *explananda*, tampouco serviria para testar a eficácia explanatória dos princípios matemáticos aduzidos como explicação. É o que sucede com a teoria pitagórica da Anti-Terra, por exemplo:

> afirmam [*sc.* os da Itália, chamados Pitagóricos] que no meio há fogo, e que a Terra, sendo um dos astros, ao se deslocar circularmente em volta do meio, propicia noite e dia. Além do mais, constroem uma outra Terra, contrária a esta, a qual chamam pelo nome de Antiterra, *não por buscar explicações e causas para os fenômenos, mas antes arrastando os fenômenos em direção a alguns argumentos e opiniões próprias, e tentando plasmar o mundo* (293a 21-27).

A partir de certas opiniões e argumentos unilateralmente valorativos, extraídos de uma matemática com feições místicas, eles buscaram forçar os fatos a concordarem com a hipótese, à revelia dos fenômenos constatados pela observação através dos recursos disponíveis naquele momento. Assim, a partir da opinião "matemática" de que o *dez* (ou a *década*) é o número perfeito (cf. *Metafísica* 986a 8-12), aumentaram o número dos planetas, sem nenhuma credencial empírica para tanto.

Assim, não se deve pensar que o uso de princípios contrários à experiência ordinária, da parte dos adversários de Aristóteles, tenha o respaldo das matemáticas tal como desenvolvidas na época. Numa outra passagem, em que se dirige contra a tão celebrada derivação dos corpos elementares a partir de figuras geométricas, Aristóteles afirma o seguinte:

---

[35] Le Blond 1939, pp. 229-230, sugere que a derivação platônica dos elementos a partir das matemáticas seria uma procura por uma medida exata que ultrapassasse de modo crítico o dado sensível ordinário.

> Além disso, lhes é necessário afirmar que nem todo corpo é divisível – e assim lhes é necessário lutar contra as ciências mais exatas: pois elas, as matemáticas, assumem que inclusive o inteligível é divisível, ao passo que eles não concordam nem sequer que todo sensível seja divisível – por desejarem *salvar a hipótese* (306a 26-30).

Mas não por desejarem "salvar os fenômenos". São estes mesmos adversários que haviam assumido uma completa identidade entre "o meio da grandeza" e o "meio da coisa natural" (293b 4-8), como se fosse possível explicar as coisas naturais de maneira suficiente a partir de princípios meramente matemáticos. Tais adversários assumiam princípios matemáticos estritamente para uma dedução cosmológica *a priori* do mundo da natureza, sem ter como preocupação principal explicar por meio deles os fenômenos ordinariamente constatados. Assim, a questão da adaptação das evidências empíricas aos princípios da matemática não lhes interessava, e podemos até mesmo sugerir que a matemática por eles assumida configura-se por peculiaridades metafísicas (e até mesmo "místicas") que a distanciam da matemática reconhecida na época. Ao menos é essa a percepção de Aristóteles, conforme lemos em um pronunciamento semelhante, no qual repreende as teses atomistas:

> Além disso, lhes é necessário lutar contra as ciências matemáticas, na medida em que concebem corpos indivisíveis, e destruir muitos fatos reputados (*endoxa*) e observados (*phainomena*) segundo a sensação (303a 20-23).

Assim, no entender de Aristóteles, são os seus adversários (platônicos e atomistas) que se encontram indispostos com as matemáticas, e não ele próprio.[36]

[36] É evidente, porém, que as observações que fizemos nos últimos parágrafos se aplicam apenas aos platônicos-pitagóricos, mas não aos atomistas. A posição crítica de Aristóteles em relação a estes últimos exigiria um outro artigo.

IX

A tradicional acusação historiográfica costuma concentrar o seu interesse na matematização da astronomia.[37] Por isso, é conveniente concluir este artigo citando um texto no qual Aristóteles não apenas reconhece com simpatia os esforços contemporâneos em forjar hipóteses matemáticas no intuito de "salvar os fenômenos" observados no mundo celeste, mas inclusive os aponta como testemunho suplementar de que, diante das evidências disponíveis, a tese geocêntrica seria preferível a um "heliocentrismo" derivado tão apenas de princípios genéricos e oriundo de uma matemática com fortes inclinações místicas. Assim, após apresentar uma série de argumentos em favor da imobilidade e da posição central da Terra no mundo, Aristóteles acrescenta a seguinte ponderação:

> E testemunha em favor destas teses inclusive os pronunciamentos dos matemáticos a respeito da astronomia: pois os fenômenos observados decorrem – modificando-se as configurações [*sc.* das órbitas] pelas quais se delimita a ordem dos astros – *como se a Terra jazesse no meio* (297a 2-6).[38]

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANNAS, JULIA 1976: *Aristotle's Metaphysics - Books M and N* (trad., introd. and notes), Oxford: Clarendon Press.

ANGIONI, L. 1998: "'Não ser dito de um subjacente', 'um isto' e 'separado': o conceito de *ousia* como subjacente e forma (Z-3)", *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, série 3, vol. 8, nº. especial, pp. 69-126.

---

[37] Ver Duhem 1969, pp. 6-7, 10-11.

[38] Para uma correta apreciação dessa passagem, ver G. E. R. Lloyd 1979, pp. 206-7. Aristóteles menciona explicações matemáticas no domínio da astronomia também em *Partes dos Animais* I 1, 639b 7-10.

———. 2000: "O hilemorfismo como modelo de explicação científica na filosofia da natureza em Aristóteles", *Kriterion*, vol. XLI, n. 102, pp. 136-164.

BALME, D. M. 1992/1972: *De Partibus animalium I and De Generatione Animalium I*, Oxford: Clarendon Press, 1972 (with a report on recent work and additional bibliography by Allan Gotthelf, 1992).

———. 1987: "Teleology and necessity", *in* Gotthelf, A. & Lennox J. (edd.), *Philosophical Issues in Aristotle's Biology*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 275-285.

DE GANDT, F. 1991: "Sur la détermination du mouvement selon Aristote et les conditions d'une mathématisation", *in* De Gandt, F. & Souffrin, P. (edd.). *La Physique d'Aristote – et les conditions d'une science de la nature*, Paris: Vrin, pp. 85-105.

DUHEM, PIERRE 1969: *To Save the Phenomena – an Essay on the Idea of Physical Theory from Plato to Galileo*, trans. E. Dolan & C. Maschler, Chicago: The University Chicago Press.

HUSSEY, EDWARD 1991: "Aristotle's Mathematical Physics: A Reconstruction", *in* Judson, L. (ed.), *Aristotle's Physics*, Oxford: Clarendon Press, pp. 213-242.

LEBLOND, J. M. 1939: *Logique et méthode chez Aristote*, Paris: Vrin.

LLOYD, G. E. R. 1979: *Magic, Reason and Experience*, Cambridge: Cambridge University Press.

MORAUX, PAUL 1960: "La méthode d'Aristote dans l'étude du ciel (*De Caelo* I 1- II 12)", *in Aristote et les problèmes de méthode*, Actes du II° Symposium Aristotelicum (1960), Louvain-la-Neuve: Institut Supérieur de Philosophie.

———. 1965: *Aristote - Du Ciel*, texte et traduction, Paris: Les Belles Lettres.

PORCHAT, OSWALDO 2001: *Ciência e Dialética em Aristóteles,* São Paulo: Ed. Unesp.

ROBIN, L. 1948: *La pensée grecque et les origines de l'esprit scientifique,* Paris: Éditions Albin Michel, 2. édition révue et corrigé.

SOLMSEN, Friederich 1960: *Aristotle's System of the Physical World,* Ithaca, NY: Cornell University Press.