Matéria e geometria: a ontologia dos Discursos

Marcelo Moschetti
Professor do Departamento de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Estadual de Santa Cruz
E-mail: moschettibr@yahoo.com

Recebido em: 06/06/2015
Aprovado em: 16/02/2016.

Resumo: A conhecida passagem do *Ensaiador* (1623) sobre a linguagem geométrica da natureza pode ser considerada uma síntese do projeto galileano: dirigir-se à natureza sem conhecer essa linguagem é um inútil vaguear em um obscuro labirinto. Na defesa da necessidade do uso da geometria na filosofia natural, destaca-se o problema da tese tradicional da heterogeneidade entre a exatidão matemática e a matéria imperfeita. Para resolvê-lo (e para recusar essa heterogeneidade), o autor mostra que só a geometria permite a superação das dificuldades relacionadas com o contínuo. Tal discussão é assunto dos *Discursos sobre as duas novas ciências* (1638). Tanto o atomismo incomum presente na obra quanto as novidades referentes ao estudo do movimento dependem do tratamento geométrico dado ao problema do contínuo. Por outro lado, a tensão entre a exatidão matemática e a imprecisão dos dados da experiência, que é responsável por parte das controvérsias interpretativas que envolvem Galileu, é fundamental para que se compreenda sua proposta de uma nova física.

Palavras-chave: Galileu. Matéria. Geometria moderna. Ciência-filosofia. Ontologia.

Matter and Geometry: ontology of Discorsi

Abstract: The well-known quotation of *The assayer* (1623) concerning the geometrical language of nature can be taken as a synthesis of Galileo's project: turning to nature without knowing that language is a useless errantry on a dark labyrinth. The problem of the traditional thesis on the heterogeneity of mathematical exactness and the imperfection of matter is highlighted by Galileo in his defense of the necessity of using Geometry in Natural Philosophy. For solving it (and for refusing the heterogeneity), the author shows that only Geometry makes it possible to overcome the difficulties related to the continuum. This discussion is present in his *Discourses concerning the two new sciences* (1638). Both the uncommon atomism found in the book and the news related to the study of movement rely on the geometrical approach on the problem of the continuum. Otherwise, the tension between mathematical exactness and the lack of accuracy of the data from experience, which causes controversies concerning Galileo, is fundamental for understanding his proposal of a new Physics.

Keywords: Galileo. Matter. Modern geometry. Science-philosophy. Ontology.

1 Introdução

Alguns historiadores apontam diferenças entre as duas obras no que se refere ao tipo de atomismo geométrico presente em cada uma, como se a teoria da matéria dos *Discursos*, certamente mais completa e acompanhada de demonstrações, tornasse necessário o abandono das principais teses inicialmente propostas. De fato, diante da passagem do *Ensaiador*, causa embaraço a atribuição, nos *Discursos*, de átomos inextensos (que inicialmente pareciam restritos à luz) aos diferentes materiais quando liquefeitos. Vale lembrar que o problema da liquefação já havia sido tratado no *Discurso sobre os corpos flutuantes*, anterior ao *Ensaiador*, e que também é parte das reflexões galileanas sobre a natureza da matéria. O estudo dessa obra anterior escapa aos objetivos deste trabalho, na medida em que o problema ressurge nos *Discursos* como o desenvolvimento da proposta anunciada nos parágrafos 6 e 48. Por ora é suficiente lembrar que o problema da liquefação já havia sido tratado na obra, e que a tese é diversa da encontrada nos *Discursos*. Pretendo aqui mostrar que, ao contrário da primeira impressão, o átomo luminoso e os mínimos geométricos do *Ensaiador* não estão apenas em conformidade com a teoria mais madura, mas que as teses de 1623 se completam com a solução das dificuldades criadas pela concepção de liquefação presente no primeiro dia dos *Discursos*. Em outras palavras, a liquefação é a chave para compreender de que maneira é possível, para Galileu, que a matéria seja estruturada geometricamente.

Para tanto, farei uma breve exposição das teses mais gerais defendidas no texto, com a atenção voltada para a divisão do contínuo em infinitos indivisíveis. Essa discussão passa pela relação entre matéria e geometria, pela cola responsável pela resistência dos materiais, pela divisão do contínuo em indivisíveis, pela liquefação, na qual aquela cola (o vazio) deixa de agir e o contínuo se divide em seus infinitos componentes inextensos; o raciocínio segue com a defesa da inadequação da linguagem filosófica da tradição para a compreensão da matéria e a concepção geométrica de rarefação e condensação. Partes do primeiro dia dos *Discursos*, principalmente as últimas, sobre a negação da recusa aristotélica do vazio na natureza, a queda dos corpos e a questão do peso específico não serão tratadas com detalhe, assim como o segundo dia da obra, na medida em que o foco aqui é na concepção geométrica de matéria. Por fim, tentarei mostrar como a solução das dificuldades relacionadas com a liquefação permite um novo olhar sobre o tipo peculiar de atomismo proposto por Galileu como garantia de que a matéria é perfeita, inalterável e geométrica, conforme é necessário para que concorde com a tese epistemológica do *Ensaiador*.

O primeiro dia dos Discursos traz uma teoria sobre a estrutura íntima da matéria que parece confirmar as hipóteses de alguns intérpretes "platonizantes" de Galileu, como são muitos dos defensores de um Galileu metafísico. Assim mesmo, não é a leitura mais freqüente entre intérpretes com essa orientação. Acredito que, para alguns, resistência dos materiais pareça um assunto "concreto" demais. Para outros, a quantidade de demonstrações geométricas não leva a crer em uma "ontologia". Para os intérpretes que consideram Galileu "inimigo das abstrações", o texto não soa bem por sugerir uma teoria da matéria sem relação direta com os dados sensíveis. Aqueles que buscam os limites da inovação galileana, ou seja, os elementos tradicionais na física do autor, os Discursos parecem bem mais afastados da tradição que outros textos, devido à abundância de geometria. Uma leitura mais atenta, no entanto, pode mostrar as dificuldades relacionadas com tais interpretações, a partir da compreensão da ontologia ali presente e de suas implicações para a escolha entre as múltiplas epistemologias possíveis de Galileu.

1 O arsenal e a imperfeição da matéria

O tema proposto para a discussão nas duas primeiras jornadas dos *Discursos* é a resistência dos materiais. Ele surge da consideração de uma dificuldade concernente à aplicação da geometria à física. Em referência à construção de máquinas no arsenal de Veneza, diz Sagredo:

> [...] não se pode argumentar das [máquinas] pequenas às grandes, porque muitas estruturas das máquinas, que dão resultado em tamanho reduzido, não funcionam em tamanho grande. Como, porém, todas as leis da Mecânica têm seus fundamentos na Geometria, não vejo que o tamanho grande ou pequeno altera as propriedades dos círculos, triângulos, cones e qualquer outra figura sólida, se a máquina maior é fabricada de forma que todas as suas partes sejam proporcionais à menor, sendo forte e resistente para o trabalho ao qual se destina [...] (*EN*, VIII, 50)[1].

Ora, na geometria não há mesmo qualquer diferença entre as propriedades de duas figuras ou dois sólidos semelhantes mas de tamanho diferentes, desde que suas partes sejam mutuamente proporcionais. Se a natureza é um livro escrito com caracteres geométricos, espera-se que suas propriedades sejam demonstradas da mesma maneira. Na medida em que isso parece não ocorrer em casos como o das máquinas de tamanhos diferentes, o princípio geral pode ser questionado. Trata-se da mais relevante objeção dos aristotélicos a essa idéia, a saber:

> [...] ao constatar que o desempenho das máquinas de grande porte contraria o que se apreende das puras e abstratas demonstrações da Geometria, atribuem a causa à imperfeição da matéria, que está sujeita a muitas alterações e imperfeições [...] (*EN*, VIII, 50-51).

De acordo com os adversários aristotélicos de Galileu, não se deve esperar encontrar, na natureza, exatidão matemática; a imperfeição da matéria impede essa pretensão. Embora seja possível, como se faz até hoje, aumentar a precisão das medidas, precisão maior ou menor é diferente de exatidão. Esse poderoso argumento constituía uma séria ameaça às pretensões dos criadores da física geométrica.[2] Isso, contudo, apenas fortaleceu a ideia de que a exatidão não é encontrada na natureza. O que hoje é conhecido como margem de erro e é tão familiar para qualquer cientista que trabalhe com cálculos e medidas era, no século XVII, capaz de diminuir grandemente o poder de persuasão de uma teoria como a galileana. A astronomia, por exemplo, havia alcançado muitos séculos antes uma precisão considerável – e essa precisão acabara de aumentar após as observações feitas por Tycho Brahe. Dadas as pretensões de Galileu, a objeção aristotélica não poderia passar sem resposta – Galileu não poderia aceitar a imperfeição da matéria defendida por seus adversários sem abrir mão de seu princípio mais importante. Diz Salviati:

> [...] nem mesmo o recurso às imperfeições da matéria, capazes de contaminar as claras demonstrações matemáticas, será suficiente para explicar a desobediência das máquinas reais às máquinas abstratas e ideais. Apesar disso, afirmarei também que, abstraindo todas as imperfeições da matéria e supondo-a perfeitíssima, inalterável e isenta de toda mudança acidental, sua existência material faz com que a máquina maior, fabricada com a mesma matéria e com as mesmas proporções que a menor, seja perfeitamente simétrica em todas as outras condições à menor, menos no vigor e resistência ao tratamento violento; mas, quanto maior for, proporcionalmente mais fraca será. Considerando que suponho que a matéria é inalterável, ou seja, sempre a mesma, é evidente que dela, como de toda disposição eterna e necessária, podem-se produzir demonstrações não menos rigorosas que as demonstrações matemáticas [...] (*EN*, VIII, 51).

No caso em questão, das máquinas de diferentes tamanhos, era necessário mostrar que "se pode demonstrar geometricamente que as maiores são sempre proporcionalmente menos resistentes que as menores" (*EN*, VIII, 51). As duas primeiras jornadas dos *Discursos* tratam dessa demonstração, ou seja, da ciência da resistência dos materiais. Biener utiliza essa mesma passagem para destacar o que confere, segundo Galileu, perfeição à matéria: «Estas propriedades podem ser tratadas matematicamente porque, como propriedades puramente matemáticas, são inateráveis, eternas e necessárias» (BIENER, 2004, p.269)[3]. Em suma, a matéria é perfeita e passível de tratamento matemático porque tem propriedades inalteráveis, eternas e necessárias. Biener, entretanto, continua:

> [...] apesar de as afirmações de Galileu a respeito dos limites do raciocínio geométrico ocuparem lugar de honra no início dos Discursos, elas não ocupam muito espaço na obra [...] (BIENER, 2004, p. 269).

Segundo o pesquisador, o assunto aparece pouco nos *Discursos*, apesar de ele defender em seu artigo a centralidade dessa concepção de matéria. Mostrarei que a matéria não é pouco tratada. Ao contrário, metade da obra é dedicada à teoria da matéria perfeita e geométrica, com propriedades inalteráveis, eternas e necessárias. Ocorre que a discussão galileana não se limita mais à lógica aplicada à terminologia escolástica, mas argumenta a partir de demonstrações geométricas necessárias. Nascimento mostra, em seu *Galileu e o arsenal*, a respeito dessa passagem e da relação dos *Discursos* com o trabalho dos artesãos, que

> [...] não basta a experiência nua. Esta deve ser integrada num saber e num saber geométrico. È só então que passa a ter validade. Como experiência nua, ela é ambígua e seria possível sustentar, a partir dela, seja uma tese, seja o seu contrário [...] Galileu parece trabalhar com a distinção aristotélica entre saber que é assim e saber porque é assim, constituindo este último a ciência propriamente dita, isto é, para retomar seus próprios termos, a demonstração de afecções eternas e necessárias (NASCIMENTO, 1998, p, 171).

O que Galileu pretende é justamente elucidar o que mantém as partes dos sólidos unidas, ou seja, a explicação para o efeito conhecido pelos artesãos. O resultado a que se chegará atribui tal efeito à força combinada das partes mínimas resistindo à separação por horror ao vazio. Essa questão será retomada mais adiante, por ora cumpre esclarecer que é nesse contexto e como parte da "demonstração necessária" do papel do vazio na resistência dos materiais que surge o atomismo nos *Discursos*. Não tratarei com igual detalhe de cada passagem da primeira jornada. Maior atenção será dada àquelas mais esclarecedoras a respeito das particularidades do atomismo geométrico de Galileu.

2 A causa da resistência dos sólidos à ruptura

A abordagem da relação entre matéria e geometria através do caso das máquinas de tamanhos diferentes traz um dado conhecido dos artesãos do arsenal: máquinas de diferentes tamanhos com dimensões proporcionais não têm a mesma resistência à ruptura. Isso parece ameaçar o projeto de geometrização da natureza, na medida em que, na geometria, figuras proporcionais têm propriedades semelhantes. Ao contrário, o dado interessa a Galileu, pois aponta o caminho para a investigação da matéria. Tal informação, muito útil na construção de máquinas, não traz consigo a sua explicação. Explicá-la é a tarefa que levará à compreensão de como é estruturado o real. Galileu inicia sua investigação através desse dado, que parece contrariar a suposição que pretende solucioná-lo, a saber, que a matéria é perfeitíssima e inalterável. Ele propõe demonstrar geometricamente que

> [...] existe um limite que se impõe necessariamente não apenas a todas as máquinas e estruturas artificiais, mas também às naturais, além do qual não pode transpor nem a arte nem a natureza [...] desde que se preservem as mesmas proporções e a identidade da matéria [...] (*EN*, VIII, p. 51).

A tarefa de demonstrar que esse limite é uma consequência da natureza geométrica da matéria ocupa as duas primeiras jornadas. Nas palavras de Salviati:

> [...] o que me proponho é afirmar demonstrativamente e não persuadir com simples considerações meramente prováveis [...] devemos considerar, antes de tudo, qual é o efeito que produz a quebra de uma madeira ou de outro sólido qualquer, cujas partes se encontram firmemente unidas, porque esta é a primeira noção na qual está envolvido o primeiro e simples princípio que devemos supor como conhecido [...] (*EN*, VIII, p.51).

Em vista do objetivo inicial, deve-se compreender o fenômeno da ruptura dos sólidos. Para tanto, ele estabelece a diferença entre a resistência que uma corda oferece à tração, através de seus múltiplos filamentos, e a resistência de um cilindro de pedra ou metal. Do exemplo ele extrai que é um tipo de cola entre as partes do material. Em seguida, o autor faz uma digressão a respeito da maneira como os filamentos tornam a corda resistente através da pressão dos filamentos uns sobre os outros, mas logo volta à questão principal, a resistência de materiais que não possuem filamentos, como pedra ou metal:

> [...] a coesão de suas partes resulta, segundo meu ponto de vista, de outras causas, que se reduzem a duas: uma é aquela decantada aversão da natureza ao vácuo; para a outra (não bastasse essa do vazio) é preciso introduzir um glúten ou cola que una fortemente as partículas das quais está composto o corpo [...] (*EN*, VIII, p.54).

Essas duas causas, o horror ao vácuo e outra cola que mantém as partículas juntas são, segundo Salviati, as causas da resistência. A primeira dessas causas, ilustrada pela resistência à separação de duas placas de mármore, conduz à existência do vazio, negado com veemência por Aristóteles e seus seguidores. A segunda é tratada mais longamente, e consiste na discussão sobre o atomismo na primeira jornada.

Duas lâminas de mármore, planas, uma sobre a outra resistem à separação, de modo que quando se tentar levantar a superior, a outra a acompanha por algum tempo, antes de se soltar. Isso ocorre devido a um princípio conhecido da tradição, o horror ao vazio, que é suficientemente forte para levantar a pesada lâmina antes que o espaço entre elas seja ocupado por ar. Algumas conseqüências desse fato têm implicações filosóficas: "[...] do fato de que a lâmina inferior é levada pela superior segue-se que no vácuo o movimento não seria instantâneo" (*EN*, VIII, p. 51).

A força citada acima origina-se na formação de um vácuo entre as lâminas, e o preenchimento com ar ocorre em um espaço de tempo. Para que se aceite que o vazio exerce uma força Galileu deve antes mostrar que o vazio é possível, ao contrário do que pensava a tradição aristotélica:

> [...] o vácuo às vezes acontece por violência ou contra a natureza (apesar de que, em minha opinião, nenhuma coisa existe contra a natureza, a não ser o impossível, que não se dá nunca). Mas aqui nasce outra dificuldade que consiste em que, apesar da experiência assegurar-me da verdade da conclusão, não chego a entender a causa à qual se poderia atribuir tal efeito. Dado que o efeito da separação das duas lâminas é anterior ao vácuo, que se seguiria como conseqüência da separação; e, visto que a causa deve preceder o efeito, se não no tempo pelo menos por natureza; e que, de um efeito positivo, também a causa deve ser positiva, não sou capaz de entender como da aderência de duas lâminas e de sua resistência à separação, efeitos que

> já estão em ato, pode-se atribuir a causa ao vácuo, que não é, mas que seria a seguir. E das coisas que não existem, nenhum efeito se pode produzir, conforme a máxima infalível do Filósofo [...] (*EN*, VIII, p. 60).

A existência do vazio na natureza, mesmo que por violência, deve ser garantida, na medida em que apenas o que existe pode ser causa de outra coisa. Se o vácuo age no mundo, ele existe. E se ele contribui para a resistência dos sólidos à ruptura, cabe questionar:

> [...] se de um efeito uma é a causa – como aprendi e acreditei – ou se, apesar de serem muitas, as causas a uma só se reduzem, por que esta aversão ao vácuo, que realmente existe, não será suficiente para justificar todas as resistências? [...] se eu encontrar um meio para distinguir entre essa conhecida resistência, que depende do vácuo, e qualquer outra, seja qual for, que concorresse com ela para fortificar a união, e se lhes mostrar que ela não é suficiente para tal efeito, não considerarão que seria necessário introduzir outra? [...] (*EN*, VIII, p.61).

Se o vazio é certamente uma das causas da resistência, deve-se buscar as outras ou mostrar que ele é suficiente para, como única causa, conduzir a esse efeito. É bastante razoável pensar que, mesmo que as causas de algo sejam múltiplas, estas se reduzem a uma que é suficiente, e cabe investigar a possibilidade de o vazio também ser responsável pela união entre as partículas de que a matéria é composta.

Para isso, Galileu propõe um experimento, no qual o material utilizado é o que permite que a hipótese seja testada:

> [...] uma matéria contínua, cujas partes não ofereçam outra resistência à separação que não seja o vácuo, matéria que, como foi amplamente demonstrado em certo tratado de nosso Acadêmico, é a água. Assim, sempre que um cilindro de água sofresse uma tração e oferecesse resistência à separação de suas partes, não poderíamos atribuir essa resistência a nenhuma outra causa, que não fosse a aversão ao vácuo [...] (*EN*, VIII, p.61).

Essa tese sobre a continuidade da água oferece o princípio que permite, em um experimento proposto por Galileu, que se faça a medida, isoladamente, da força que une as menores partes de água entre si. Em um cilindro de vidro com água, mediante um sistema para manter apenas o líquido em seu interior, acopla-se perfeitamente um cilindro de madeira, móvel, que permite que a tração exercida pelo glúten entre as partes de água possa levantar pesos do tamanho que se queira. Com isso, Galileu mostra como essa, que seria a segunda causa da coesão dos sólidos, não é desprezível. Isso leva Sagredo a lembrar do princípio da bomba dágua, que utiliza essa mesma força para elevar água, o que não pode ser feito além de um limite, devido ao rompimento da coluna de água. Esse rompimento mostra as similaridades entre a coluna de água e uma corda ou outro sólido que se rompe quando sua resistência é vencida(o metal é mencionado, assim como especificamente fios de cobre; veremos mais adiante o papel que os metais representam na discussão). Mas de qualquer maneira, os líquidos oferecem a chave para que Galileu explique a continuidade na matéria formada por indivisíveis[1].

3 Liquefação e atomismo

O atomismo dos *Discursos* só pode ser compreendido através da compreensão da natureza da água, na verdade dos líquidos em geral. Mostrarei em seguida as conseqüências da continuidade que Galileu atribui aos líquidos, bem como a utilidade da concepção do processo de liquefação dos metais para a concepção geométrica de matéria. É na diferença entre os estados sólido e líquido que reside a chave para compreender a diferença entre indivisíveis e partículas mínimas.

Na argumentação do texto, os líquidos são invocados para esclarecer a causa que, além do vácuo, é responsável pela resistência dos sólidos, na medida em que são sólidos que perderam essa coesão. Eles permitem também que Salviati proponha: "Quem sabe se outros pequeníssimos vácuos não trabalham na conexão das pequeníssimas partículas, de tal forma que o que mantém ligadas todas as partes resulta ser da mesma cunhagem?" (*EN*, VIII, p.66).

Se os vácuos diminutos exercem um papel semelhante ao que têm na separação das placas de mármore, a segunda causa que se busca equivale à primeira, ou seja, o vácuo é a causa única da resistência dos sólidos à ruptura. Para decidir sobre isso, deve-se investigar a liquefação.

Já se obteve que essa segunda força não é pequena. Agora Salviati pretende mostrar que a dissolução em indivisíveis sem coesão entre as partes, mas ainda assim formando um contínuo, é uma característica fundamental dos líquidos. Isso pode ser melhor compreendido através da explicação da liquefação dos metais:

> Considerando, algumas vezes, como o fogo, ao insinuar-se entre as mínimas partículas deste ou daquele metal, que se encontram fortemente unidas, acaba por separá-las e desuni-las; e como, quando o fogo é retirado, elas voltam a reunir-se com a mesma tenacidade que possuíam antes, sem que tenha diminuído em nada a quantidade de ouro e muito pouco a quantidade de outros metais, mesmo que as partes fiquem separadas por muito tempo, pensei que isto poderia acontecer porque as finíssimas partículas de fogo, penetrando através dos estreitos poros do metal (através dos quais, devido à sua pequena dimensão, não poderia passar um mínimo de ar nem de muitos outros fluidos) ao ocupar os mínimos vácuos interpostos, liberariam as mínimas partículas da força com a qual estes mesmos vácuos fazem com que se atraiam, impedindo a sua separação. Assim, podendo elas mover-se livremente, sua massa ficaria fluida, permanecendo nesse estado enquanto permanecerem entre sí as partículas de fogo. Desaparecendo estas, os vácuos primitivos voltariam e retornaria a mesma atração e, consequentemente, a união das partes (*EN*, VIII, p. 66-67).

O processo de liquefação se dá através da separação dos componentes do metal por partes ígneas que se inserem entre eles, preenchendo os vazios e eliminando a coesão. Com isso, a resistência à separação desaparece, ou seja, o horror ao vazio deixa de agir e as partes podem ser separadas facilmente. As diminutas partes ígneas (inextensas) eliminam a força que une as pequenas partes (extensas) separando-as umas das outras. As partes são diminutas, infinitamente pequenas, assim como as forças que as unem, mas a concorrência dessas forças produz efeitos impressionantes, devido à sua "infinita abundância". Sagredo lembra que qualquer força finita pode ser superada por um número suficiente de pequenas forças, ao que Salviati responde sugerindo a possibilidade de serem infinitas. Forças ou magnitudes, trata-se agora de mostrar que infinitas partes sem grandeza podem formar uma quantidade finita de qualquer tamanho, ou infinitos momentos[1] podem vencer uma resistência finita, qualquer que seja. Para isso, ele apresenta duas figuras geométricas, conhecidas da tradição por constar do paradoxo chamado "a roda de Aristóteles", contido no tratado pseudo-aristotélico *Questões mecânicas*.

4 O contínuo: indivisíveis e magnitudes finitas

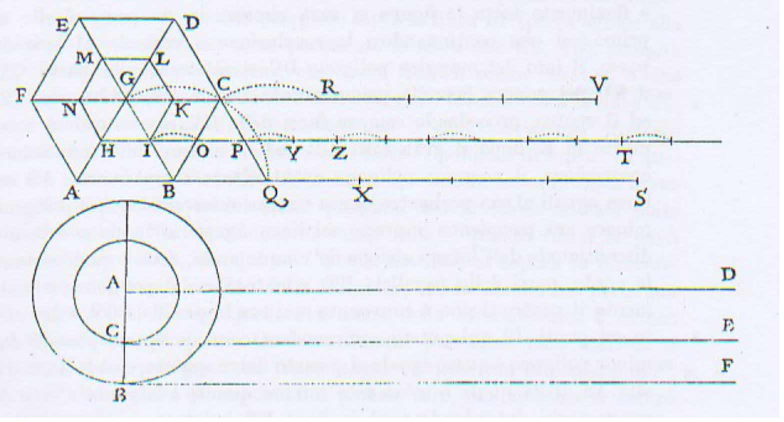
Galileu utiliza o antigo paradoxo atribuído a Aristóteles para mostrar que o contínuo é formando por infinitas partes inextensas, unidas por infinitos espaços vazios também inextensos. A versão tradicional do paradoxo, baseada na segunda figura abaixo (FIGURA 1), diz que, ao rolar sobre a linha inferior (BF), o círculo maior percorre espaço semelhante ao que o menor percorre sobre a linha CE, ainda que os dois dêem o mesmo número de voltas e o seu perímetro seja muito desigual. Na versão apresentada nos *Discursos*, chega-se à mesma conclusão acrescida de outra acerca do vazio, a partir da rotação de um polígono (primeira figura). Ao rolar sobre um vértice, todo o restante do polígono, exceto o ponto que coincide com esse vértice, é deslocado para cima, de modo que cada vértice toca a reta em pontos separados por uma distância idêntica ao lado do polígono a que o vértice pertence (o maior ou o menor). Marca-se então os pontos nos quais os vértices dos polígonos tocam as retas sobre as quais rolam, o que mostra que os vértices dos dois polígonos deixam entre esses pontos espaços de tamanhos diferentes. No segundo caso, o dos dois círculos concêntricos, estes tocam as retas em todos os infinitos pontos percorridos, de modo que cada um desses pontos se comporta como os lados dos polígonos e está separado dos outros por espaços vazios, infinitos e infinitamente pequenos, e as linhas formam contínuos. Assim, o contínuo formado por infinitos pontos pode se expandir indefinidamente.

Ao se reduzir e dividir uma linha

> [...] em partes que possuem uma grandeza (*in parti quante*) e, portanto, numeráveis, é impossível dispô-las em uma extensão maior do que aquela que ocupavam quando dispostas sem a interposição de outros tantos espaços vazios. Porém, se a imaginarmos resolvida em partes sem grandeza (*in parti non quante*), ou seja, em seus infinitos indivisíveis, podemos concebê-la como indefinidamente estendida não

> pela interposição de espaços vazios que têm uma grandeza (*di spazii quanti vacui*), mas sim de infinitos vazios indivisíveis. E isto que afirmamos para as linhas simples deve valer para as superfícies e para os corpos sólidos, considerando-os compostos de infinitos átomos sem grandeza (*di infiniti atomi non quanti*) [...] (*EN*, VIII, p.71-72).

FIGURA 1



Fonte: (*EN*, VIII, 68).

Tanto linhas quanto superfícies e sólidos, divididos em partes extensas, mantém o mesmo tamanho ao reuni-las formando novamente um contínuo, por mais espaços vazios inextensos que se adicione entre essas partes. Se as partes e os espaços forem infinitos, e para isso as partes devem ser inextensas, pontuais, é possível estender ou comprimir o tamanho da linha, da superfície e do sólido tanto quanto se queira, pela adição de infinitos vazios pontuais. Passando das considerações puramente geométricas para a consideração das suas consequências para a teoria da matéria que ora desenvolve, Salviati continua:

> Se enterdermos, porém, a mais profunda e última divisão efetuada nos últimos componentes desprovidos de grandeza e infinitos, podemos conceber tais componentes dispostos num espaço imenso, sem a interposição de espaços vazios que têm

> uma grandeza (*spazii quanti vacui*), mas apenas de infinitos vazios sem grandeza (*vacui infiniti non quanti*). Assim, não deve causar relutância que um pequeno globo de ouro, por exemplo, se estenda num espaço imenso sem admitir entre suas partes vazios que têm grandeza, sempre e quando admitamos que o ouro é composto de infinitos indivisíveis (*EN*, VIII, p.72).

Galileu considera que a liquefação é um processo que, na natureza, reduz a matéria a seus componentes inextensos, e com isso permite que, por exemplo, uma porção de ouro seja grandemente estendida quando liquefeita. O argumento, que vem ilustrar concretamente o princípio geométrico, não leva em conta que o ouro líquido não se espalha indefinidamente. O que o autor destaca, nas palavras de Simplício, é o perigo da defesa de um atomismo no contexto do século XVII, pois o atomismo era considerado uma heresia.

O atomismo galileano, como se pode perceber, não se parece com o de Demócrito. A matéria, como no *Ensaiador*, é composta por infinitos átomos desprovidos de grandeza, como os pontos geométricos, os únicos indivisíveis da geometria euclidiana. Simplício, que nos *Discursos* destoa enormemente do seu homônimo que aparece no *Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo* (1632), que já foi chamado com justiça de "bufão", faz objeções pertinentes e move as partes mais importantes do debate ao pedir esclarecimentos sobre os aspectos problemáticos da nova teoria da matéria. Ele nota que o raciocínio anterior não somente iguala o número de pontos de círculos de tamanhos diferentes, mas também os iguala ao centro, um único ponto, que igualmente rola sobre a linha AD e gera uma linha de tamanho próximo ao das outras duas. Diz Simplício nesse momento sobre a divisão do contínuo:

> [...] essa maneira de compor a linha a partir de pontos, o divisível a partir dos indivisíveis, o que tem grandeza a partir do que não tem grandeza, parece-me um obstáculo difícil de ser transposto [...] (*EN*, VIII, p.72-73).

Simplício aponta, corretamente, que a discussão da infinitude e do infinitamente pequeno, ou seja, dos princípios da geometria, quando aplicada à natureza, gera inúmeros paradoxos.

Salviati não o nega, chamando infinito e indivisíveis de "incompreensíveis" para nós, ainda que destacando que isso não nos impede de considerá-los. Ele se propõe a responder a dúvida de Simplício sobre a igualdade entre um ponto e uma linha com uma digressão, uma nova demonstração que comporta maiores dificuldades e chega à mesma conclusão da discussão da "roda de Aristóteles". Por esse motivo, e para manter a continuidade do raciocínio passo diretamente à resposta de Salviati à dúvida expressa na última citação:

> Uma das primeiras objeções que se pode apresentar contra aqueles que compõe o contínuo a partir de indivisíveis costuma ser a de que um indivisível juntado a outro indivisível não produz uma coisa divisível, porque, se assim fosse, seguir-se-ia que também o indivisível seria divisível [...] Pode-se responder a quem formula esta e outras objeções parecidas, dizendo-se que uma grandeza divisível não pode ser composta por apenas dois indivisíveis, nem por dez, nem por cem, nem por mil, mas antes por infinitos [...] (*EN*, VIII, p. 77).

Para que a resposta seja inteligível é necessário lembrar que, nesse ponto da discussão, indivisível já significa o átomo inextenso. Posta dessa maneira, a objeção é rejeitada no interior da geometria. De fato, nenhum contínuo geométrico pode se formar a partir de um número finito de pontos. Mas a resposta permite a Simplício que apresente outra objeção, ainda mais séria:

> [...] como temos certeza de encontrar linhas, uma maior que a outra, contendo ambas infinitos pontos, temos de admitir que existe, em magnitudes da mesma espécie, uma coisa maior que o infinito, uma vez que a infinitude dos pontos da linha maior excederá a infinitude dos pontos da menor. Ora, o fato de dar-se um infinito maior que o infinito, parece-me um conceito que não pode ser entendido de modo algum [...] (*EN*, VIII, p. 77).

Diferentes magnitudes, todas contendo infinitos pontos, levam a pensar em infinitos maiores ou menores. A dificuldade já se deixava entrever desde a formulação presente no *Ensaiador*: como é possível que um grão de areia tenha o mesmo número de átomos que uma montanha?

A resposta de Galileu é que o infinito não pode ser pensado em termos de maior, menor ou igual. De acordo com Salviati, o conjunto dos números quadrados não é menor que o conjunto de suas raízes, ou seja, dos números não quadrados, mesmo que, contando-os um a um, encontre-se cada vez menos números quadrados quanto mais se avança na série dos números. Ainda assim, para cada número haverá um quadrado e vice-versa; "passar para números cada vez maiores é afastar-se cada vez mais do infinito" (*EN*, VIII, p. 79). O que ocorre com os quadrados é um reflexo do caso da redução gradativa dos círculos até um único ponto. A comparação entre infinito e finito não é possível.

Em suma, o infinito e os indivisíveis são incompreensíveis devido ao nosso entendimento, que atribui a eles propriedades que cabem apenas às coisas finitas e limitadas. Assim mesmo, a geometria consegue operar com eles. Galileu-Salviati enfrenta as objeções de Simplício, mostrando como a linguagem matemática é adequada para tratar de questões como o infinito e os indivisíveis. Algo que pode ser dividido e subdividido indefinidamente deve possuir infinitas partes. Assim,

> [...] Sendo as partes infinitas, temos como conseqüência que não têm grandeza (*non quante*), porquanto infinitas partes que têm grandeza (*quanti infiniti*) formam uma extensão infinita. E assim, pois, chegamos ao contínuo composto de infinitos indivisíveis [...] (*EN*, VIII, p. 80).

É impossível para qualquer magnitude finita ser formada por infinitas partes extensas (com grandeza). Sua soma resultaria em uma magnitude infinita. O contínuo, ao contrário, só pode ser formado por infinitas partes sem extensão, assim como qualquer segmento de reta (e qualquer figura plana e qualquer sólido) é formado por infinitos pontos.

Todas essas afirmações são paradoxais em linguagem comum orientada pela lógica. É esse justamente o problema com o contínuo denunciado pelos eleatas. Em geometria, ao contrário, não surpreende que qualquer magnitude contenha infinitos pontos. O que está em discussão é a natureza da matéria e sua perfeição, e os argumentos são geométricos.

5 O infinito e as limitações da linguagem filosófica tradicional

A linguagem matemática permite tratar de questões que escapam à compreensão, ou seja, aos limites da imaginação e da linguagem comum. Por isso, escapam também ao tratamento filosófico tradicional. Para mostrar esse ponto, Galileu introduz, através de Simplício, os conceitos utilizados pela tradição, de modo valorar sua utilidade em filosofia natural.

Definida a composição do contínuo geométrico, Galileu pretende retomar a recusa do infinito por divisão, presente na *Física* de Aristóteles, com o questionamento da necessidade de introduzir, como resultado da divisão, partes desprovidas de grandeza. Salviati se propõe então a mostrar que a

> [...] própria possibilidade de continuar indefinidamente a divisão em partes que têm grandeza (*quante*) leva à necessidade da composição de infinitos desprovidos de grandeza (*non quanti*) (*EN*, VIII, p. 80).

Para mostrá-lo, Salviati questiona Simplício sobre a quantidade das partes do contínuo. Este último responde:

> [...] são finitas e infinitas. Infinitas em potência e finitas em ato. Infinitas em potência, ou seja, antes da divisão; finitas em ato, ou seja, depois da divisão, porque as partes não podem ser entendidas em ato, a não ser depois de estarem divididas ou assinaladas; caso contrário, diz-se existirem apenas potencialmente [...] (*EN*, VIII, p. 80).

A distinção entre potência e ato, um dos princípios mais importantes do pensamento aristotélico, é o que permite, em *Física* III, que o infinito por divisão seja recusado, assim como outras maneiras de se considerar o infinito, como a adição ou o infinito espacial. O processo de divisão pode continuar indefinidamente, mas em qualquer instante que se tome o infinito ainda não foi atingido. Resta apenas o infinito do tempo, que da mesma maneira nunca se atualiza. A distinção entre ato e potência, responsável por algumas das principais conclusões da filosofia de Aristóteles e dos aristotélicos, é considerada irrelevante por Salviati, na medida em que o contínuo contém qualquer número de partes, inclusive infinitas, quer seja em potência quer em ato. Simplício responde a favor da relevância da discussão, na medida em que o infinito por divisão é "daquelas potências que nunca são reduzidas em (*sic*) ato" (*EN*, VIII, p. 82).

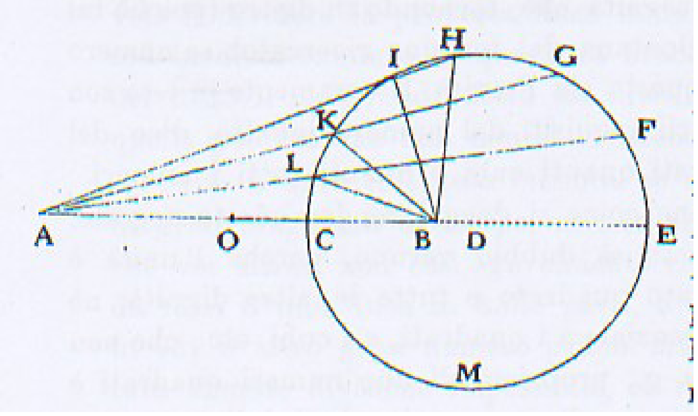
Antes de voltar à defesa da existência do infinito em ato na natureza, Galileu apresenta uma demonstração da insuficiência das categorias filosóficas aristotélicas na presente discussão. Para isso, retoma o raciocínio a respeito dos números quadrados e defende que, se há um número infinito, este é o um, que contém em si todos os quadrados, os cubos e todos os números. Da existência de termos médios entre os quadrados (2 entre 1 e 4, 3 entre 1 e nove, e assim por diante) e cubos (3 e 9 entre 1 e 27, etc.) ele extrai a conclusão de que "deveriam alertar-nos contra os enormes erros feitos por aqueles que tentam discutir os infinitos com os mesmos atributos que utilizamos para os finitos" (*EN*, VIII, p. 83).

Esse equívoco fica evidente com a demonstração que Salviati apresenta em seguida (FIGURA 2), para explicar "a diferença do infinito e, além disso, a aversão e contrariedade natural que encontraria uma quantidade finita em converter-se em infinita" (*EN*, VIII, p. 85)[1]. Na linha que une dois pontos (A e B), toma-se um ponto C, que divide essa linha em dois segmentos. Mantendo-se a proporção entre esses dois segmentos, forma-se triângulos sucessivos; os vértices desses triângulos geram um círculo. Esse círculo aumenta com a proximidade entre C e o ponto médio O, e diminui com sua distância em relação a ele. O aumento sucessivo da proximidade torna o círculo tão grande quanto se queira, de maneira que, quando C coincide com O, os dois segmentos têm tamanhos idênticos e passam a formar um círculo de raio infinitamente grande, ou seja, uma linha reta infinita.

Parte dessa demonstração aparece, poucas páginas adiante, destacada deste contexto. Por esse motivo trato dela aqui. Trata-se da demonstração geométrica que faltava para que se compreenda a formação do círculo através de segmentos sempre com a mesma proporção (FIGURA 3). Ela sustenta a seguinte passagem da demonstração anterior:

> [...] se traçarmos apartir dos extremos A e B pares de linhas que têm entre si a mesma proporção que as partes AC, BC, seus pontos de intersecção caem todos na circunferência de um mesmo círculo (*EN*, VIII, p. 83-84).

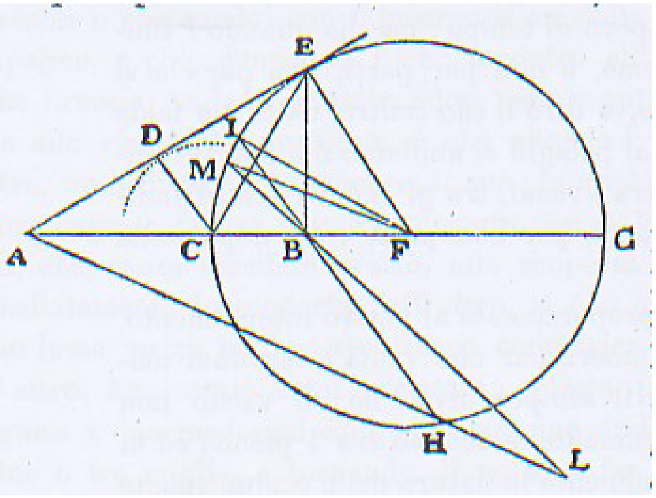
FIGURA 2



Fonte: (*EN*, VIII, 84)

Não pretendo retomar toda a demonstração, é suficiente apontar que, por triangulação, ele mostra que nenhum dos vértices dos triângulos que se pode formar com segmentos com a mesma proporção entre si, a partir de B e A, pode estar dentro ou fora do círculo, mas esses vértices formam precisamente a circunferência.

FIGURA 3



Fonte: (*EN*, VIII, 84).

Ao tratar da transformação do círculo em reta, Mariconda traduz "*perde l'essere e Il poter essere*" (*EN*, VIII, p. 85) como "perde a existência e a possibilidade de existência" (GALILEI, 1988, p. 42), quando o sentido do texto claramente aponta para um jogo de palavras com dois sentidos de ser: perde "o [seu] ser", sua essência (tornando-se outra coisa) e "a possibilidade de ser", no sentido de existência. O absurdo da transformação do finito em infinito é, segundo Salviati, semelhante ao de que o infinito nos números deve ser buscado na unidade. A demonstração visa mostrar como a linguagem filosófica tradicional é insuficiente para a compreensão de questões como a infinitude e o contínuo. Além disso, aproxima Galileu do cálculo infinitesimal e da ideia de limite, na medida em que trabalha justamente com a ideia da aproximação sucessiva, e necessariamente contínua da destruição do círculo enquanto tal, com o aumento de suas dimensões rumo ao infinito e com sua transformação em um círculo infinitamente grande que se reduz a uma linha reta.

A transformação do círculo em uma reta infinita é uma mudança semelhante, segundo Salviati, à diferença entre a separação da matéria em partes sempre menores, e processos que a alteram radicalmente, como a liquefação:

> [...] quando quebramos um sólido em muitas partes, reduzindo-o a partículas tão pequenas como poeira, até dissolvê-las em seus infinitos átomos indivisíveis, por quê não podemos dizer que foi reduzido a um único contínuo, fluido como a água, ou o mercúrio, ou mesmo o metal liquefeito? [...] (*EN*, VIII, p. 85).

A resposta não é que se trata do mesmo caso, mas, ao contrário,

> [...] os elementos mínimos da água, dos quais ela sempre está composta (pois que esta tem menor consistência que qualquer pó, por mais fino que seja, ou antes, não tem nenhuma consistência), são muito diferentes das partículas mínimas divisíveis. Não consigo encontrar outra diferença a não ser que são indivisíveis [...] (*EN*, VIII, p. 86).

Algo de matéria sólida, triturado até se reduzir ao pó mais fino, não pode, como sugerira Galileu no *Ensaiador*, dissolver-se[1] em seus mínimos indivisíveis. Isso ocorre através de outro processo, através dos quais os infinitos indivisíveis do material são separados por outros infinitos indivisíveis de fogo, de modo a perder sua coesão. Galileu retoma, nessa passagem, a questão da liquefação, ao trazer para a natureza as conclusões de sua demonstração geométrica da transformação do círculo finito em reta infinita. O que é incompreensível sem a geometria passa a ser necessário. Assim, é necessário, segundo Galileu, que os líquidos estejam já divididos em indivisíveis sem coesão entre si, formando um todo contínuo, para explicar como líquidos podem preencher todos os espaços dos recipientes que os contêm.

Ainda no contexto das questões postas diretamente no *Ensaiador*, o autor passa a discutir a velocidade da luz. Não tratarei desse ponto com grande detalhe. Para o presente objetivo, basta dizer que, para ele, é necessário que, para produzir os efeitos que produz, particularmente o calor, é necessário que sua operação inclua movimento. Galileu declara que seus experimentos (descritos no texto com detalhe) foram insuficientes para descobrir se ela é extremamente veloz ou se seu movimento é instantâneo. Ainda assim, contra a tradição, ele considera mais provável que a luz tenha uma velocidade finita embora muito grande. A maneira como Salviati interrompe a digressão para voltar à discussão principal é um eco explícito do *Ensaiador*:

> Porém, em que oceanos estamos inadvertidamente navegando? Entre os vácuos, entre os infinitos, entre os indivisíveis, entre os movimentos instantâneos, sem poder nunca, apesar de milhares conjeturas, chegar a terra firme? [...] (*EN*, VIII, p.89).

Salviati decide então retomar outra objeção de Simplício e mostrar-lhe "como a decomposição da linhas em seus infinitos pontos não só [não] é impossível, mas tampouco apresenta em si maior dificuldade que a divisão em suas partes que têm grandeza" (*EN*, VIII, p. 91). Nas palavras da tradição, é necessário mostrar que infinitos indivisíveis podem ser separados em ato. Uma exigência de Simplício, a saber, de que as partes infinitas estejam divididas ou assinaladas dita o caminho da resposta:

> [...] faço uma suposição que acredito que o Sr. Simplício está disposto a conceder-me: que não me seja pedido separar entre si os pontos mostrando-os um a um sobre esta folha de papel, pois eu me contentaria que, sem separar entre si as quatro ou seis partes de uma linha, me mostrassem nitidamente as suas divisões, ou ainda, girando-as sobre si mesmas, um quadrado ou um hexágono. Nesse caso ficaria convencido de que as divisões estariam suficientemente distinguidas e efetuadas [...] (*EN*, VIII, p. 91-92).

Suposto isso,

> [...] dobrarmos uma linha reta para formar seja um quadrado, seja um octógono, seja um polígono de quarenta, de cem ou de mil ângulos, essa mutação é suficiente para atualizar essas quatro, oito, cem ou mil partes, que antes estavam em linha reta em potência, segundo sua própria expressão; quando, do mesmo modo, a transformo num polígono de lados infinitos, ou seja, quando dobro para obter a circunferência de um círculo, não poderia dizer que reduzi a ato aquelas infinitas partes que se dizia estarem anteriormente contidas em potência, enquanto ele era uma reta? [...]O círculo, que é um polígono de infinitos lados, toca a [...] reta com um de seus lados, que é um único ponto diferente de todos os seus colaterais e,

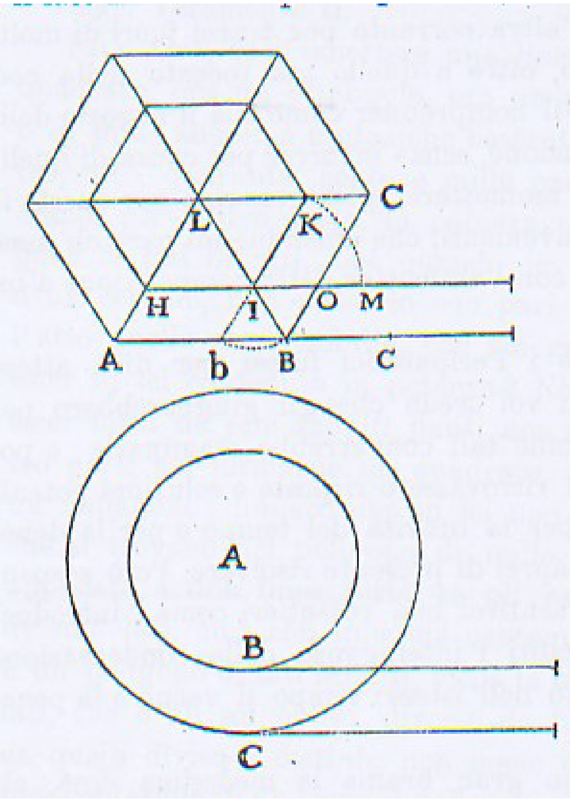
> portanto, distinto e separado daqueles como o lado de um polígono é distinto dos outros lados subjacentes [...] (*EN*, VIII, p. 92).

Em resposta a Aristóteles, em um espaço considerado geometricamente o infinito existe em ato. Note-se que o argumento não pretende mostrar que um círculo é um polígono de infinitos lados, o que é banal, mas que uma reta (aquela que foi dobrada infinitamente para formá-lo), tem de fato infinitos pontos, e, por conseqüência, qualquer magnitude também os tem. O argumento tem algo de muito astucioso pois só conclui se for admitido pelo interlocutor que a divisão se opere não pela separação efetiva, mas simplesmente pela dobra da linha em um polígono. Galileu pretende resolver com isso o problema da composição do contínuo por infinitos pontos. Pode-se assim compreender como é possível que a matéria proposta por ele tenha indivisíveis inextensos como seus constituintes mais fundamentais, e como a soma dessas partes sem grandeza pode formar algo extenso, e tudo isso "em ato".

6 Rarefação e condensação

Salviati anuncia, então, que a mesma concepção de matéria contínua composta por indivisíveis permite compreender os fenômenos da rarefação e da condensação, com a vantagem de não admitir a interposição de espaços vazios e portanto evitar a penetrabilidade dos corpos. Para fazê-lo, retoma a "roda de Aristóteles" (FIGURA 4).

FIGURA 4



Fonte: (*EN*, VIII, 94).

> [...] os infintos lados indivisíveis do círculo maior, com seus infinitos indivisíveis retrocessos – efetuados durante os infinitos repousos instantâneos dos infinitos vértices dos infinitos lados do círculo menor – e com seus infinitos avanços, iguais aos infinitos lados do círculo menor, compõem e descrevem uma linha, que é igual àquela descrita pelo círculo menor, contendo em si mesma infinitas sobreposições sem grandeza (*non quante*) , as quais produzem uma contração e uma condensação sem nenhuma penetração das partes finitas, o que seria impossível numa linha dividida em partes que têm grandeza (*quante*), como é o caso do perímetro de qualquer polígono imaginável que, estendido em uma linha reta, não poderia ser reduzido a um comprimento menor, a não ser que

> seus lados se sobreponham e se penetrem [...] (*EN*, VIII, p. 95).

Para que o polígono maior percorra a mesma distância que o menor, é necessário que o primeiro role sobre a mesma linha que o segundo, HM, de modo que seu excesso sobre esse menor como que atravessa essa linha a cada rotação, e o retrocesso desse excesso, conforme mostrado na primeira figura, explica o efeito de maneira satisfatória, sem que haja rarefação ou condensação. Já o círculo apresenta infinitos retrocessos que ocorrem cada um em instantes infinitamente pequenos, o que permite que o círculo maior se condense na linha percorrida pelo menor (seu perímetro se iguala ao do menor), assim como o menor pode se expandir e percorrer a mesma distância do maior. Fazem-no de modo que para cada ponto indivisível em um deles tem contrapartida em um único ponto do outro. Com isso, ele acredita que rarefação e condensação podem ser explicadas sem o recurso a espaços vazios (com grandeza) e à penetrabilidade dos corpos.

Simplício, após essa demonstração, aponta novamente para aquele que é o assunto de toda a primeira jornada:

> [...] segundo essa regra, uma onça de ouro poderia rarefazer-se e dilatar-se até adquirir um tamanho superior à Terra, e toda a Terra poderia condensar-se e reduzir-se a um volume inferior a ao de uma noz, coisas nas quais não acredito, nem acredito que alguém acredite. Por outra parte, como as considerações e demonstrações apresentadas até aqui são coisas matemáticas, abstratas e separadas da matéria sensível, parece-me que, aplicadas ao mundo físico e natural, não vingariam essas regras [...]
>
> (*EN*, VIII, p. 96).

A questão de Simplício, que vem sendo respondida desde o começo da primeira jornada, cuja discussão ainda não se encerrou, é recebida por Salviati como um pedido de evidência, que ele fornece na descrição do processo de fiação do ouro. Ele esclarece que o centro do fio é de prata, e só a superfície é coberta de ouro. Nesse fio, uma pequena porção de ouro é estendida para cobrir uma grande superfície. Para mostrar a relação matemática entre o alongamento do fio e as mudanças na superfície desse fio, apresenta um estudo geométrico da relação entre cilindros e suas superfícies. O que há de notável na série de demonstrações que se segue é que essas já ocorrem em concreto, isto é, aplicadas ao caso da fiação de ouro, do volume de recipientes de pano. Não há necessidade de retomá-las para o presente objetivo, na medida em que elas se mostram apenas recursos para que o leitor (ou o adversário representado por Simplício) reconheça os princípios geométricos operando no mundo.

Depois dessas demonstrações, ele dá exemplos de rarefação parecidos com aqueles já mencionados no *Ensaiador*: as explosões e a expansão ilimitada da luz que produzem e da expansão dos odores. Ele afirma que os exemplos de rarefação são abundantes, mas que a condensação da luz ou do fogo, ou de átomos de odor, não é facilmente observada. Como vimos antes, ele abandona a idéia que soava inconsistente no parágrafo 48: que através do atrito, ou seja, da separação mecânica em partes, chegar-se-ia aos indivisíveis. A discussão sobre rarefação e condensação conclui com uma daquelas afirmações que causam acirradas disputas entre os intérpretes, por apontar um elemento da teoria da ciência por trás das investigações de Galileu:

> [...] onde falta a observação sensível, devemos completá-la com o raciocínio, que será suficiente para fazer-nos compreender não apenas o movimento que concorre para a rarefação e resolução dos sólidos, mas também o movimento na condensação das substâncias tênues e rarefeitas [...] (*EN*, VIII, p. 105).

O esforço da primeira jornada não é simplesmente o de completar as lacunas deixadas pela experiência, mas que a matemática é necessária na investigação da natureza devido à própria composição do real. Ali são estabelecidos os princípios que não apenas justificam essa necessidade, mas também fornecem o modelo para outras investigações mais particulares.

Uma análise mais detalhada do restante da primeira jornada escapa às pretensões deste trabalho. São discutidos o vazio, a queda dos corpos, resistência do meio, peso específico, a propriedade que futuramente se chamaria "tensão superficial" e, no final, uma digressão sobre a harmonia musical e teoria das proporções. Antes dessa teoria ocorre a rendição se Simplício. Diz ele nas últimas páginas da primeira jornada:

> Fico completamente convencido e podem ter certeza de que, se tivesse de recomeçar meus estudos, seguiria o conselho de Platão e começaria pelas Matemáticas, cujo procedimento não só é

> meticuloso, mas não admite como verdadeiro senão aquilo que pode ser demonstrado concludentemente [...] (*EN*, VIII, p. 134).

A rendição do adversário aristotélico representa a satisfação de Galileu com os resultados obtidos, ou seja, uma declaração de que a física matemática está suficientemente fundamentada.

7 Átomos, partículas e geometria

Os intérpretes que se detiveram em tais passagens e encontraram um rompimento com a tese do *Ensaiador* ligaram o atomismo nele contido à teoria da matéria presente nos *Discursos* sobre os corpos flutuantes. Palmerino defende a passagem de um "atomismo físico" para um "atomismo geométrico" (PALMERINO, 2001). Outros, negando essa desastrada distinção, evidentemente inviável no pensamento de Galileu, defendem a passagem de uma concepção mais tradicional de átomo, com extensão e figura, a outra onde o indivisível é desprovido de grandeza (MOLINA, 2006, CLAVELIN, 1968). Minha interpretação difere de ambas. Em primeiro lugar, nenhuma das duas leva em conta que o átomo dos dois textos é inextenso, e que não há contradição entre o que é dito nos *Discursos* e a ideia de partícula extensa, dotada de figura e mais assemelhada ao átomo da tradição democritiana. Em segundo lugar, parece ter escapado aos intérpretes que no *Ensaiador* e nos *Discursos* os "átomos realmente indivisíveis" são pontuais e que a dissolução neles não é limitada a este ou àquele material, ainda que o primeiro não se detenha sobre a liquefação e pareça sugerir que a luz pode ser produto da separação dos átomos de qualquer material. Na geometria, a linguagem da natureza, todas as figuras são formadas por infinitos pontos sem extensão.

Contudo, há um problema nos *Discursos* que ameaça toda a teoria: se todos os líquidos e metais liquefeitos estão dissolvidos em infinitos átomos inextensos, pontuais, por que não têm todos o mesmo aspecto e as mesmas propriedades? E mesmo que tivessem, como poderiam os metais liquefeitos, retiradas as partes ígneas, retornar cada um ao seu estado anterior? Há ainda outro problema – sólidos puramente geométricos não possuem uma propriedade evidente dos corpos, o peso.

Sugiro, para resolver o problema, uma interpretação que soa improvável inicialmente, mas que, se aceita, não só elimina todas essas dúvidas mas as transforma na solução. Tome-se novamente a passagem sobre o retorno do ouro à sua condição inicial, depois de dissolvido em seus indivisíveis. Se estes, retiradas as partes ígneas, são capazes de retornar à forma inicial, e se os átomos ígneos inextensos não se confundem com os átomos áureos inextensos, segue-se que há tantos tipos diferentes de indivisíveis pontuais quanto há diferentes tipos de materiais puros, sem mistura. Isso significa que, ainda que divididos em partes sem grandeza, há propriedades que se mantém, o que permite pensar na reunião partículas dotadas desta ou daquela figura e de uma determinada gravidade específica (ou peso específico, como dizemos hoje). Vale notar que essas propriedades, quando se pensa em um átomo separado dos outros, permanecem apenas em possibilidade, pois se um desses átomos tivesse qualquer peso, o número infinito deles que necessariamente forma qualquer partícula extensa resultaria em um peso infinito.

Pode-se argumentar contra essa interpretação apontando a atribuição de qualidades à matéria no que ela tem de mais essencial, o que contraria a tese geral que Galileu pretendia fundamentar, sobre a redução do natural à quantidade. Diante do texto, que parece corroborar minha interpretação, ou bem se considera o peso e a capacidade de formar partículas de uma ou de outra figura como propriedades também geométricas, embora carentes de explicação, ou se diz que a matéria não é puramente geométrica mas apenas organizada geometricamente e passível de tratamento geométrico. Esta última possibilidade parece ser o caso, na medida em que Galileu não aponta para uma solução matemática que explique as diferenças de peso específico (apesar de usar o conceito) ou as outras propriedades que diferenciam os materiais liquefeitos uns dos outros. Não é surpreendente que algo careça de explicação suficiente em um trabalho pioneiro. As cores, por exemplo, não são explicadas em nenhuma obra, apesar de, no *Ensaiador*, constarem na lista de qualidades secundárias. Assim mesmo, note-se que a matéria, embora não se resuma às leis da geometria, está sujeita a todas as conclusões geométricas. De outro modo, o grito de vitória que aparece em uma das últimas passagens da primeira jornada, com a aceitação por Simplício da perfeição da matéria e da necessidade das demonstrações matemáticas no estudo da natureza, perde o sentido.

Qualquer interpretação que se faça do atomismo dos *Discursos*, Galileu considerava sua tese ontológico-epistemológica suficientemente fundamentada ainda na primeira jornada, por mais improváveis que soem algumas partes de sua teoria da matéria. Em uma carta posterior, na verdade um pequeno tratado em forma de carta, o último escrito científico do autor, escrito em 1641 em resposta a Fortunio Liceti sobre uma polêmica tardia sobre a luz secundária da Lua, Galileu reafirma: "[...] O discurso matemático serve para superar aqueles obstáculos com os quais às vezes o puro físico corre o risco de chocar-se e se quebrar [...]" (*EN*, VIII, p. 521).
Para Galileu, além da lógica, é a matemática que permite, a partir da experiência, compreender aquilo que não é imediatamente dado na mesma. Enquanto para os aristotélicos, "puros físicos", o discurso matemático é no máximo uma digressão, para Galileu ele é condição necessária para o conhecimento da natureza. Clavelin expressa esse ponto de maneira exemplar:

> Nenhum teorema dos Discursos, isso é certo, foi obtido por indução da experiência. Todos são o produto de uma pesquisa cujos princípios foram pensados sem dúvida em contato com os fatos, mas onde a parte da razão permanece grandemente predominante [...] (CLAVELIN, 1968, p. 434).

Os *Discursos* iniciam com um problema concreto; em meio às demonstrações geométricas surgem, dados da experiência fornecem aquilo que deve ser explicado com a matemática. Ainda assim, a leitura do texto deixa claro o papel predominante da razão na teoria da matéria perfeita e inalterável que permite a atribuição das leis matemáticas ao mundo.

A primeira jornada do *Diálogo*, e não dos *Discursos*, já foi chamado de "contribuição mais filosófica de Galileu" (MARICONDA, 1989, p. 127-137). Depois da leitura dos *Discursos*, não é possível concordar. Há densas discussões de filosofia natural no primeiro texto, uma cosmologia, mas essa é a filosofia segunda. No segundo há uma teoria da matéria, a ontologia que serve de base para toda a física galileana, ou seja, filosofia primeira no sentido estrito. Galileu, na primeira jornada dos *Discursos*, tem seu momento mais "filosófico".

Tal ontologia, em confronto com as passagens "epistemológicas" do texto galileano, permite uma melhor compreensão de seu projeto de física matemática, assim como a realização de parte significativa desse projeto.

Notas

1 Este trabalho foi financiado pela Universidade Estadual de Santa Cruz e tem como base o segundo capítulo da tese «Navegando em um oceano infinito: a física geométrica de Galileu e o problema do contínuo», defendida na Universidade Estadual de Campinas em fevereiro de 2011.

2 FAVARO, A. (ed.) *Edizione Nazionale delle opere di Galileo*. Firenze: S. A. G. Barbére Editore, 1938, VIII, p. 50. As próximas referências às *Opere* de Galileu conterão simplesmente *EN*, volume e página.

3 A barreira que a imperfeição da matéria significava para geometrização da natureza já era debatida entre os medievais árabes. Avicena, por exemplo, admitia que, na natureza, apenas o céu, devido à sua perfeição, era passível de tratamento geométrico. Seria vão buscar um círculo, uma linha reta ou qualquer das formas geométricas idealizadas no mundo sublunar (McGinnis, J. "Natural numbers: Avicenna and the use and misuse of Mathematicas in natural philosophy". Mimeo).

4 O autor dedicou esse artigo à defesa da centralidade da teoria da matéria nos *Discursos*. Não discordo da tese central, ao contrário. Entretanto minha leitura diverge em pontos importantes.

5 Mesmo que ele nunca tenha alcançado uma boa explicação para a tensão superficial. Ver MOLINA, 2006.

6 O conceito de momento traz dificuldades, é uma diferença importante em relação aos desenvolvimentos da física posteriores a Galileu, mas escapa às pretensões deste trabalho.

7 A tradução brasileira diz "a diferença infinita, e ainda mais, a versão..." (GALILEI, 1988, p. 40).

8 Molina destaca a importância do conceito de *resolutio* (dissolução) que Galileu utiliza para descrever o processo de liquefação (MOLINA, 2006).

Referências

BIENER, Z. Galileo's first new science: the science of matter. **Perspectives on Science**, v. 12, n. 3, p. 262-287, 2004.

CLAVELIN, M. **La philosophie naturelle de Galilée**. Paris: Armand Colin, 1968.

FAVARO, A. (Ed.). **Edizione Nazionale delle opere di Galileo**. Firenze: S. A. G. Barbére Editore, 1938. v. 19.

GALILEI, G. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo:** ptolomaico e copernicano. Tradução, introdução e notas: P. R. Mariconda. São Paulo: Discurso, 2002.

MARICONDA, P. A contribuição filosófica de Galileu. In: CARNEIRO, F. L. (Ed.). **350 anos dos "Discorsi intorno a due nuove scienze" de Galileu Galilei**. Rio de Janeiro: Marco Zero, 1989.

MOLINA, F. La teoria galileana de La matéria: resolutio e infinitos indivisibles. In: MARTINS; BOIDO; RODRIGUEZ. **Física**: estudos filosóficos e históricos. Campinas: AFHIC, 2006.

MOSCHETTI, M. **A Unificação do Cosmo:** o rompimento de Galileu com a distinção aristotélica entre céu e Terra. 2002. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

NASCIMENTO, C. A. R. **De Tomás de Aquino a Galileu**. Coleção Trajetória 2. Campinas: IFCH: Unicamp, 1995.

PALMERINO, C. Galileo´s and Gassendi´s solutions to the *rota aristotelis* paradox: a bridge between matter and motion theories. In: LÜTHY; MURDOCH; NEWMAN (Ed.). **Late medieval and early modern corpuscular matter theories**. Brill: Leiden, 2001.