

Marcelo Moschetti

Navegando em um oceano infinito

A física geométrica de Galileu e o problema do contínuo

Tese de Doutorado apresentada ao
Departamento de Filosofia do Instituto
de Filosofia e Ciências Humanas da
Universidade Estadual de Campinas.

Orientador: Prof^a Dr^a Fátima Regina

Rodrigues Évora.

Campinas

2011

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DO IFCH - UNICAMP
Bibliotecária: Sandra Aparecida Pereira CRB nº 7432**

M85n	<p>Moschetti, Marcelo Navegando em um oceano infinito : a física geométrica de Galileu e o problema do contínuo / Marcelo Moschetti. - - Campinas, SP : [s. n.], 2011</p> <p>Orientador: Fátima Regina Rodrigues Évora Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas.</p> <p>1. Galileu, 1564-1642. 2. Matéria. 3. Geometria moderna. 4. Ciência - história. I. Évora, Fátima Regina Rodrigues. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. III. Título.</p>
-------------	---

Título em inglês: Sailing and infinite ocean : Galileo's geometrical physics and the problem of the continuum

**Palavras chaves em inglês
(keywords):**

**Matter
Geometry, modern
Science - Philosophy**

Área de Concentração: História da Filosofia

Titulação: Doutor em Filosofia

**Banca examinadora: Marcio Augusto Damin Custódio, Eduardo Salles Oliveira Barra
Paulo Vieira Neto, Cristiano Novaes de Rezende**

Data da defesa: 28-02-2011

Programa de Pós-Graduação: Filosofia



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de Doutorado, em sessão pública realizada em 28 de fevereiro de 2011, considerou o candidato MARCELO MOSCHETTI aprovado.

Este exemplar corresponde à redação final da Tese defendida e aprovada pela Comissão Julgadora.

Profa. Dra. Fátima Regina Rodrigues Évora

Prof. Dr. Márcio Augusto Damim Custódio

Prof. Dr. Eduardo Salles de Oliveira Barra

Prof. Dr. Paulo Vieira Neto

Prof. Dr. Cristiano Novaes de Rezende

Dedico este trabalho à Miyuki, que tem
que dividir o papai com um italiano que
nasceu há mais de 400 anos.

Agradecimentos

No plano institucional, agradeço à Universidade Estadual de Santa Cruz, que permitiu o meu afastamento por um ano para que me dedicasse a esta pesquisa.

À minha orientadora, Fátima Regina Rodrigues Évora, agradeço pelo apoio, cujo tamanho e importância somente um orientando seu pode avaliar. Agradeço também pelo exemplo de seriedade e boa vontade que eu ainda gostaria de ser capaz de seguir. Principalmente, agradeço pela sua paciência.

Agradeço aos professores Anastasia Guidi Itokazu e Márcio Damin Custódio pelas críticas e sugestões feitas por ocasião do exame de qualificação. Ao mesmo Márcio e aos demais membros da banca de defesa, Cristiano Novaes de Rezende, Eduardo Salles Oliveira Barra e Paulo Vieira Neto pela boa vontade e pela disposição em avaliar este trabalho.

Em etapas diferentes, outros professores do IFCH / UNICAMP e de outras instituições contribuíram para a realização deste trabalho. Agradeço a todos na pessoa do professor Enéias Forlin.

Agradeço aos colegas Marisa Donatelli e Paulo Tadeu da Silva, que contribuíram imensamente tanto como interlocutores quanto na viabilização desta pesquisa e do meu afastamento.

Por todas as contribuições ao longo do trabalho, agradeço aos membros do grupo de trabalho ANPOF História da Filosofia da Natureza. Agradeço também aos membros da associação Scientiae Studia. Em especial, agradeço aos colegas Lisiane Basso, José

Portugal, Edson Adriano Moreira e Alex Calazans, com os quais foi extremamente proveitoso discutir Galileu.

Parte da redação deste trabalho foi feita no Paraná, onde exerci atividades docentes entre 2003 e 2008 e tive a oportunidade de discutir este trabalho com meus alunos, aos quais devo agradecer também pela paciência em ouvir a minha ladainha. Entre os paranaenses, agradeço especialmente ao ex-colega de departamento Sérgio Luís Persch, companheiro dezessetista na terra do inverno sem fim.

Aos alunos e colegas baianos, também agradeço pela paciência.

Agradeço ao professor Guilherme Amaral Luz pela revisão de meu *abstract*.

Pelo apoio “logístico” em diversos momentos, agradeço aos amigos Ney, Margareth, Laís, Foca, Tennessee e Bola (que representam também eventuais omissões).

Pelo apoio emocional e logístico na reta final e por embelezar o ambiente em um período tão delicado, agradeço à Naina Iraê.

Mesmo que ela nem saiba de quantos passeios, brincadeiras e conversas foi privada por causa deste trabalho, agradeço à Miyukinha.

Agradecer aos meus pais sempre é redundante – eles insistem em apoiar incondicionalmente das mais diversas maneiras. Agradeço também aos meus outros familiares pelo apoio, especialmente pelas muitas velinhas que a velhinha sempre acendeu.

"Não há nenhuma razão para que o mundo obedeça às leis matemáticas, mas nós acreditamos que é assim. É um ato de fé nosso, que alguns poderiam, com razão, comparar a um sentimento religioso. Até agora nossa aposta tem dado certo, explicamos muitos fenômenos naturais. Mas não está claro por que dá certo."

Michael Atiyah

Resumo

A conhecida passagem do *Ensaíador* (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 Galilei (1564-1642), matéria, geometria moderna, ciência-filosofia.

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 an 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 Galilei (1564-1642), matter, modern geometry, science-philosophy.

Sumário

Introdução	1
1. Geometria e matéria no <i>Ensaíador</i>	11
<i>O Ensaíador</i>	15
<i>A teoria da percepção no parágrafo 48</i>	18
<i>A ontologia em projeto no Ensaíador</i>	23
2. Matéria e geometria: a ontologia dos <i>Discursos</i>	27
<i>O arsenal e a imperfeição da matéria</i>	32
<i>A causa da resistência dos sólidos à ruptura</i>	37
<i>Liquefação e atomismo</i>	42
<i>O contínuo: indivisíveis e magnitudes finitas</i>	45
<i>O infinito e as limitações da linguagem filosófica tradicional</i>	52
<i>Rarefação e condensação</i>	60
<i>Átomos, partículas e geometria</i>	64
3. Tempo, espaço e geometria	69
<i>O contínuo e o movimento uniforme</i>	73
<i>O contínuo e a queda dos corpos</i>	75
O experimento com plano inclinado	80
4. O projeto científico de Galileu.....	87
<i>O desafio de interpretar a ciência de Galileu</i>	90
<i>O problema das aproximações</i>	96
Conclusão	101
Bibliografia	109
Anexo: tradução do parágrafo 48 do <i>Ensaíador</i>	121

Introdução

Introdução

Galileu Galilei (1564-1642) é provavelmente o autor favorito de quem pretende defender uma tese metodológica acerca da ciência. Isso ocorre devido à sua evidente importância no processo que levou à física newtoniana e, mais especificamente, devido a uma característica das reflexões metodológicas que se encontram dispersas em sua obra: essas passagens, escolhidas segundo o interesse de cada um, parecem permitir a defesa das mais variadas concepções acerca da ciência. Nenhuma destas, entretanto, pode ignorar a sua contribuição mais geral e definitiva, a idéia de que a física sem a matemática é um “inútil vaguear em um obscuro labirinto”, na medida em que a natureza é um livro escrito em linguagem matemática. Se isso é uma unanimidade entre os intérpretes, o acordo se desfaz quando cada um se põe a explicar o alcance da metáfora e a epistemologia que Galileu pretende sustentar com ela. Alguns simplesmente ignoram as passagens que não estão de acordo com o que pretendem defender, ou as desqualificam, enquanto outros sugerem que, consideradas em conjunto, tais passagens são contraditórias. Alguns tentam buscar uma explicação mais geral para as aparentes contradições, de modo a caracterizar o autor para além das teses meramente epistemológicas, como um polemista, um propagandista ou simplesmente um pioneiro que avança em territórios desconhecidos e por isso não pode interromper a marcha para justificar cada passo.

É difícil enquadrar o pensamento de Galileu nos moldes de qualquer concepção de ciência muito restrita. Cada estudioso destaca como principais elementos diferentes da obra galileiana e deixa de lado outros fatores, de modo que Galileu aparece como um advogado da concepção de ciência de quem fez o recorte. O texto parece justificar a existência das

controvérsias. Há controvérsias consagradas a respeito de questões metodológicas, fatuais, filosóficas e intertextuais. As mais interessantes, do ponto de vista filosófico, envolvem o nascimento da ciência newtoniana. Segundo muitos autores (com exceções notáveis, como Pierre Duhem), ela foi o resultado de uma revolução científica que se seguiu à divulgação do modelo astronômico-cosmológico de Copérnico.

Um dos principais autores que estudaram tal revolução é Alexandre Koyré. A revolução científica dos séculos XVI e XVII, que resultou no estabelecimento da física moderna, é caracterizada por ele através de dois traços que se completam: a dissolução do cosmo e, conseqüentemente, o desaparecimento, na ciência, de todas as considerações baseadas nessa noção; e a geometrização do espaço, isto é, a substituição da idéia de lugar da física pré-galileana, que corresponde a um cosmo qualitativamente ordenado e concreto, pela idéia de espaço homogêneo e abstrato da geometria euclidiana. Segundo Koyré,

“...[a dissolução do cosmo] significa a destruição de uma idéia de um mundo qualitativamente diferenciado do ponto de vista ontológico. Esta idéia é substituída pela idéia de um Universo aberto, indefinido e até infinito, unificado e governado pelas mesmas leis universais, um Universo no qual todas as coisas pertencem ao mesmo nível do ser, contrariamente à concepção tradicional que distinguia e opunha os dois mundos, do Céu e da Terra. /Doravante, as leis do Céu e as leis da Terra se fundem[...]. Isso implica o desaparecimento, da perspectiva científica, de todas as considerações baseadas no valor, na perfeição, na harmonia e no desígnio. Tais considerações desaparecem no espaço infinito do novo Universo. É nesse novo universo, nesse novo mundo, onde a geometria se faz realidade, que as leis da física clássica encontram valor e aplicação...”¹

¹ KOYRÉ, 1973, p. 155.

Koyré diz que uma das duas novidades que permitiram o nascimento da física moderna, como a conhecemos, foi o fim da distinção entre céu e Terra. Esta primeira foi o assunto de minha dissertação de mestrado, intitulada *A Unificação do Cosmo: o rompimento de Galileu com a distinção aristotélica entre céu e Terra*², na qual detalhei o problema da aceitação de uma cosmologia copernicana diante do dualismo cosmológico aristotélico e mostrei como o programa galileano de defesa do heliocentrismo teve como fundamento a refutação dos argumentos aristotélicos em favor da inalterabilidade celeste. A própria estrutura do *Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo* (1632) denuncia a importância da questão: a primeira jornada, onde são discutidos princípios cosmológicos, toma cada um dos argumentos em favor da tradicional cosmologia bipartida contidos no *De Caelo*, na ordem em que aparecem, e questiona sua inconsistência lógica, em grande parte do texto, e sua inadequação empírica (pois a argumentação de Aristóteles também se referia à experiência – experiência sensível, não se trata de experimentação neste caso) na parte final. Uma dificuldade encontrada foi isolar o rompimento com a tradicional cosmologia dualista do segundo fator apontado por Koyré, a geometrização da natureza.

A importância desses dois fatores não é igual, na medida em que a distinção entre céu e Terra foi um obstáculo à introdução da matemática como condição necessária para o estudo da natureza. Para que o espaço possa ser identificado com o espaço geométrico definido por Euclides, é necessário considerá-lo qualitativamente neutro. Do ponto de vista da ciência que se constituiu a partir dessa revolução, o primeiro fator tem pouco mais que interesse histórico. Já o segundo é tão importante que hoje faz parte da própria idéia de ciência. Com isso pode-se compreender o interesse maior por parte dos estudiosos pela

² MOSCHETTI, 2002.

geometrização do espaço, assim como sua maior relevância para outras discussões sobre ciência em geral.

Embora Koyré seja o protagonista de algumas ferrenhas disputas teóricas entre os especialistas, com relação à importância da matematização da Física no pensamento de Galileu e no nascimento da ciência newtoniana não há controvérsia. Eis a passagem mais conhecida da obra galileana:

“...A filosofia está escrita neste grandíssimo livro que aí está aberto continuamente diante dos olhos (isto é, o universo), mas não se pode entendê-lo se primeiro não se aprende a entender a língua e conhecer os caracteres nos quais está escrito. Ele está escrito em língua matemática, e os caracteres são triângulos, círculos e outras figuras geométricas, meios sem os quais é humanamente impossível entender-lhe sequer uma palavra; sem estes trata-se de um inútil vaguear por um obscuro labirinto...”³

A passagem que define o pensamento de Galileu para qualquer estudioso está longe de ter uma interpretação unânime. Apenas como exemplo, citarei duas maneiras clássicas e opostas de concordar sobre a importância desta passagem. Para Koyré Galileu está anunciando, entre outras coisas, o projeto de uma física *a priori*, com bases matemáticas, contra o apelo freqüente de Aristóteles à experiência sensível e ao senso comum. Já Drake, seu maior crítico, defende que geometrizar o espaço é medir com precisão os resultados experimentais e demonstrar matematicamente a partir deles as leis naturais. As duas visões contém idéias opostas sobre o que é a ciência de Galileu e também sobre o que é fazer ciência. Como essa, há inúmeras disputas acerca dessa unanimidade controversa que é a

³ FAVARO, A. (ed.) *Edizione Nazionale delle opere di Galileo*. Firenze: S. A. G. Barbé Editore, 1938, V, p. 232. As próximas referências às *Opere* de Galileu conterão simplesmente *EN*, volume e página. Utiliza-se para esta passagem a tradução de C. A. R. Nascimento, apud GALILEI, 1988, p. 176.

linguagem matemática com que o livro da natureza foi escrito. Muitas controvérsias envolvem a escolha de quais outras passagens da obra de Galileu são usadas para esclarecer essa relação entre natureza e matemática, a partir da qual se define o que é a ciência galileana e, freqüentemente, qual é a concepção de ciência do pesquisador.

Neste trabalho examino algumas das principais passagens citadas pelos intérpretes, no contexto em que aparecem, na tentativa de apontar um caminho capaz de eliminar algumas dificuldades e compreender melhor o projeto galileano de matematização da física. Drake e Koyré representam dois tipos de leitura de Galileu, importantes porque a tensão entre elas reflete uma tensão do próprio pensamento galileano. Com maior detalhe, analiso o parágrafo 48 do *Ensaaiador* (1623) e os *Discursos sobre as duas novas ciências* (1638), textos onde se encontra a justificativa de Galileu para a geometrização da natureza e surgem os primórdios da nova ciência que evoluiu para a física de Newton.

O primeiro capítulo, intitulado "Geometria e matéria no *Ensaaiador*", mostra como, na obra onde apresenta a formulação mais conhecida de sua metáfora do livro da natureza, Galileu esclarece, no parágrafo 48, algo de seu projeto científico. A teoria da percepção ali contida, que recusa a objetividade das qualidades sensíveis que não são percebidas como geométricas, leva-o a formular uma teoria atômica incomum, na qual os "verdadeiros indivisíveis" seriam infinitamente pequenos, como pontos geométricos, e presentes em quantidade infinita em qualquer porção de matéria, como ocorre com o ponto geométrico. As dificuldades decorrentes da consideração do infinito e do contínuo fazem com que ele abandone provisoriamente o assunto deixando uma série de questões em aberto, mas com a promessa de retomá-las no futuro.

Tais questões ressurgem no primeiro dia dos *Discursos*, assunto do segundo capítulo intitulado "Matéria e geometria: a ontologia dos *Discursos*". A partir do argumento

tradicional sobre a imperfeição da matéria ser incompatível com a exatidão matemática, o autor apresenta uma ontologia geométrica que reformula mas também reafirma o atomismo incomum do *Ensaíador*. Os dois momentos podem ser comparados, não só para destacar as suas diferenças, mas, principalmente, para que os textos se revelem mutuamente esclarecedores enquanto parte de um mesmo projeto: o de oferecer os princípios metafísicos sobre os quais se apoiariam as novas ciências dos *Discursos*, especificamente, e a física matemática da modernidade em seu estágio inicial (quando a física ainda era filosofia e esse tipo de fundamentação ainda era necessário). O primeiro dia dos *Discursos* mostra como aquilo que envolve o contínuo e o infinito só pode ser compreendido matematicamente, de modo que, como ele já havia dito no *Ensaíador*, dirigir-se à natureza sem conhecer a linguagem matemática é um inútil vaguear em um obscuro labirinto.

A justificativa para o uso da matemática no estudo da natureza, em particular no que se refere à possibilidade de abordar o contínuo, é fundamental para o estudo do movimento que se encontra no terceiro e no quarto dias dos *Discursos*. No terceiro capítulo, "Tempo, espaço e geometria", o assunto são as vantagens encontradas no uso da geometria para tratar das questões relacionadas com o contínuo. O tempo, o espaço e a aceleração, contínuos, são melhor compreendidos através da representação geométrica, mas, principalmente, com ela podem ser calculados. Além disso, uma série indefinida de relações matemáticas pode ser estabelecida a partir dos princípios admitidos. No terceiro dia aparece a descrição do conhecido experimento com plano inclinado, que Galileu propõe para verificar se a relação matemática proposta como a mais simples para descrever a queda dos corpos corresponde ao que ocorre na natureza. A discussão dessa passagem é assunto do quarto capítulo.

No quarto capítulo, "O projeto científico de Galileu", proponho que o caminho para compreender a geometrização da física em Galileu passa necessariamente pela discussão da tensão entre o ideal matemático e o papel da experiência, presente na tradição interpretativa e originada no próprio texto galileano. Diante das análises feitas nos capítulos anteriores, este capítulo pretende mostrar como as passagens citadas pelos mais variados intérpretes podem ser melhor compreendidas quando se leva em conta o projeto galileano anunciado no *Ensaíador*, a teoria da matéria do primeiro dia dos *Discursos* e a ciência geométrica do movimento, presente no terceiro e no quarto dias. Isso também traz mais elementos para se conhecer os limites da relação entre os procedimentos de Galileu e o moderno método experimental. Da mesma maneira, esclarece uma série de razões para se compreender a física de Galileu em sua especificidade.

Capítulo 1

Geometria e matéria no *Ensaíador*

Capítulo 1

Geometria e matéria no *Ensaíador*

Há algo de notável na atribuição do título de “filósofo” a Galileu, obtido por exigência sua quando foi contratado pelos Médici da Toscana. Em lugar de “primeiro matemático” (astrônomo) da província, ele era o “primeiro filósofo e matemático”. Para além de sua conhecida vaidade, sua proposta era justamente unir física e matemática. O uso da última, característica distintiva das ciências intermediárias (ou médias ou mistas), para ele, deveria se expandir para toda a filosofia natural. Compreender essa união pode trazer elementos esclarecedores para a compreensão da física matemática de Galileu. Este propôs a recusa de uma tradição filosófica e metodológica, ao mesmo tempo em que estabeleceu, em grande medida, as bases para as investigações posteriores da natureza. Vale lembrar que Galileu não propôs a física moderna nos termos em que ela é hoje ensinada. Ele rejeitava explicitamente argumentos de autoridade, mas era um hábil debatedor devido ao seu domínio da lógica aristotélica. Galileu disse algumas vezes acreditar que o próprio Aristóteles viria a concordar com ele se ainda vivesse, diferentemente dos aristotélicos do século XVII. Deve-se notar que a novidade metodológica – a física matemática - que futuramente afastaria cientistas e filósofos (principalmente pela incompetência matemática destes, apesar dos alertas platônicos) era a mesma que, contextualizada, criava a exigência fundamentação filosófica. Galileu não era o único a pensar assim, como se pode perceber através da popularidade obtida por suas teses que, depois de adotadas por racionalistas e empiristas, seriam conhecidas como “teoria das qualidades primárias e secundárias”. Essa teoria está ligada a uma certa concepção de matéria, a um atomismo incomum e que deve

ser esclarecido, na medida em que, como pretendo mostrar no capítulo seguinte, a concepção de matéria dos *Discursos* é a ontologia prometida no *Ensaíador*.

Neste capítulo busco esclarecer como essa ontologia está presente em projeto no *Ensaíador*, para, no capítulo seguinte, mostrar a evolução dessa proposta no primeiro dia dos *Discursos*. Para tanto, faço uma breve apresentação da obra, seguida da análise detalhada do parágrafo 48⁴.

⁴ Cujas traduções integrais estão presentes nesta tese em anexo.

1.1. O *Ensaíador*

Em 1610 Galileu iniciou a divulgação de seus estudos baseados nas observações telescópicas, com o *Sidereus Nuncius*⁵. Essas observações e as seguintes foram retomadas nas cartas publicadas com o título de *História e demonstrações acerca das manchas solares* (1613), escritas em polêmica com o padre jesuíta alemão Christoph Scheiner. Nessa obra já aparece uma primeira versão da imagem que caracteriza o pensamento do autor italiano. Ele contestou o princípio de autoridade, tão utilizado por Scheiner, com a seguinte comparação: é “como se este grande livro do mundo não tivesse sido escrito pela natureza para ser lido por outro senão Aristóteles”⁶. A metáfora do livro do mundo, ou da natureza, já antiga no tempo de Galileu, seria, a partir do *Ensaíador*, utilizada para afirmar que a geometria é a linguagem com que esse mundo foi escrito. Apesar disso, pode-se dizer que o autor já “lia” dessa maneira a natureza há mais tempo (e de um modo bastante literal no caso da interpretação das imagens telescópicas⁷). Apesar da novidade do uso da perspectiva e outros princípios geométricos oriundos da pintura, geometria e céu não eram tão estranhos entre si. Basta lembrar que a astronomia era uma ciência intermediária milenar. Cálculos acerca da resistência dos materiais soavam como novidade apenas na filosofia. Os artistas do Renascimento realizavam milagres de engenharia na construção civil com o uso da geometria. Os artesãos do arsenal de Veneza, que tanta admiração causaram em Galileu também o faziam. Esse conhecimento não era, no entanto, amparado

⁵ Diante da dupla possibilidade de tradução (e interpretação) do título da obra ("A mensagem das estrelas" ou "O mensageiro das estrelas"), mantenho o original em latim.

⁶ *EN*, V, p. 190.

⁷ MOSCHETTI, 2006.

por uma teoria articulada que explicasse os princípios envolvidos, ao menos nos moldes da elitista comunidade acadêmica. Ou seja, não eram ciência, mas técnica. O *Ensaíador* não é o primeiro passo de Galileu rumo a uma teoria da matéria, a discussão já estava presente nos *Discursos sobre os corpos que flutuam sobre a água e que nela se movem* (1612), mas sua relação com os *Discursos* e o seu papel de anúncio da descoberta da linguagem da natureza o tornam um bom começo para a presente investigação.

Em 1616 Galileu foi orientado a compreender o modelo heliocêntrico como um mero artifício matemático sem relação com a realidade. Isso, entretanto, não o impediu de se envolver na disputa acerca de uma nova “mensagem das estrelas”, a saber, o surgimento de três cometas em 1618. Os matemáticos jesuítas do Colégio Romano publicaram, no ano seguinte, a opinião de seu representante Horácio Grassi sobre o fenômeno, considerando-o uma evidência anti-copernicana. Galileu não pôde observá-los, por motivo de saúde, mas sua opinião foi continuamente cobrada. A notoriedade que o autor havia alcançado, desde suas primeiras descobertas telescópicas, o obrigou a se pronunciar. Ainda assim, a prudência o levou a publicar sua opinião sob autoria de Mario Guiducci, seu discípulo e companheiro na Academia dos Lincei, na obra *Discurso sobre os Cometas*. Prontamente Grassi replicou, com o pseudônimo Lotario Sarsi (suposto aluno seu), publicando a *Libra Astronômica*. A réplica só veio em 1623, quando o período de silêncio de Galileu foi rompido com a publicação do *Ensaíador*, obra que discute pontualmente as críticas do jesuíta. Não tratarei dos problemas de Galileu com a Igreja e nem mesmo da discussão sobre os cometas. Embora a questão central do *Ensaíador* seja a polêmica com Grassi a respeito dos cometas, a obra traz também alguns dos apontamentos mais importantes sobre o papel das matemáticas na ciência galileana, justamente nas passagens mais lidas: um pequeno trecho do parágrafo 6º e, com uma popularidade muito menor, o 48º. A passagem

do sexto parágrafo já foi citada na introdução: o universo é um livro escrito com caracteres matemáticos, cujo conhecimento é necessário para o filósofo que o queira ler. O preceito metodológico que estabelece a necessidade da matemática na investigação da natureza não traz dificuldades interpretativas. O mesmo não pode ser dito da relação entre a natureza e os caracteres geométricos. A natureza é um “algo” organizado geometricamente, e que por isso deve ser lido por conhecedores da geometria, ou essa ligação é ainda mais estreita e há uma identidade maior entre o mundo e o espaço abstrato da geometria euclidiana? Em outras palavras, deve-se compreender da passagem que o mundo obedece às leis de Euclides ou que, além disso, ele não está sujeito a outras leis? A busca por essa resposta pode começar pela outra passagem mencionada da mesma obra.

1.2. A teoria da percepção no parágrafo 48

No parágrafo 48 do *Ensaíador*, que merece ser examinado mais detidamente neste momento, Galileu apresenta, em meio a uma discussão acerca do calor, sua distinção entre “acidentes primários e reais” e qualidades que, “à parte do sujeito no qual parecem residir, não sejam outra coisa que puros nomes, mas tenham residência unicamente no corpo sensitivo, de modo que, removido o animal, sejam levadas e aniquiladas todas estas qualidades”; segue-se a caracterização de cada uma, e alguns elementos de uma teoria da percepção. Ele diz que uma substância corpórea deve ser necessariamente concebida como:

“...limitada e figurada por esta ou aquela figura, grande ou pequena em relação a outras, ocupando este ou aquele lugar, neste ou naquele tempo, em movimento ou parada, em contato ou não com outro corpo, como uma, poucas ou muitas, nenhuma imaginação permite que a separe de tais condições; mas que ela deva ser branca ou vermelha, amarga ou doce, sonora ou muda, de odor agradável ou desagradável, não me sinto forçado a apreendê-la necessariamente acompanhada destas últimas condições...”⁸

Como se pode ver, de um lado estão colocados a figura, o lugar, o tamanho, o tempo, o movimento, o contato e o número, e de outro a cor, o sabor, o som e o cheiro. Até que se descubra um bom motivo para não fazê-lo, a identidade dessa oposição com as qualidades primárias e secundárias de Descartes e outros filósofos pós-galileanos permite que, para facilitar a exposição, elas sejam referidas dessa maneira no restante do texto. A

⁸ EN, VI, p. 347-8.

posição galileana a respeito das qualidades secundárias é apresentada a partir de uma analogia com as cócegas. O corpo animado,

“...que recebe tal operação sente diversas afecções conforme é tocado em diversas partes. E ao ser tocado, por exemplo, sob as plantas dos pés, sobre os joelhos ou sob as axilas, sente, além do toque comum, uma outra afecção, a qual impusemos um nome particular, chamando-a “cócega”: tal afecção é toda nossa, e de modo algum da mão. Parece-me que gravemente erraria quem dissesse haver na mão, além de movimento e contato, uma outra faculdade diversa desta, isto é, fazer cócegas, como se a cócega fossem um acidente que residisse nela...”⁹

É inadmissível, para Galileu, que a cócega esteja presente na mão que nos toca os pés. Objetos diferentes, como uma pena ou um pedaço de papel são capazes de produzir o mesmo efeito. Contudo, quando o seu contato e seu movimento se efetuam em outras partes do corpo, tal efeito não se verifica. A conclusão é que:

“...Tal titilação é completamente nossa, e não da pena, e removido o corpo animado e sensitivo, ela nada é além de um puro nome. Ora, de tal e não maior existência creio que possam ser muitas qualidades que são atribuídas aos corpos naturais, como sabor, odor, cor, e outras...”¹⁰

⁹ *EN*, VI, p. 348.

¹⁰ *EN*, VI, p. 348.

Definida a inexistência da cócega para além da sensibilidade, Galileu passa à caracterização das qualidades percebidas por cada um dos sentidos. Sensações tácteis como dureza, maciez, aspereza, são pequenas diferenças percebidas, principalmente, com a ponta dos dedos. O sabor, o odor e a sensação táctil de temperatura são explicados pela recepção, através dos órgãos dos sentidos, de partículas diminutas emitidas pelos corpos e as diferenças entre cada sensação se devem à diversidade de tamanho, figura, número e movimento entre essas partículas. O som é, para ele, devido ao encrespamento do ar, que produz ondas que chegam aos nossos ouvidos, sendo a diversidade dos ruídos causada pela frequência dessas ondas. O autor identifica os sentidos a cada um dos elementos, determinando assim a composição das partículas e diferenças percebidas por cada um. As partículas que guardam relação com os elementos terra, água, ar e fogo são percebidas pelo tato, pelo paladar, pela audição e pelo olfato, respectivamente. À visão, o mais nobre dos sentidos, corresponde a luz, superior aos elementos, e composta por infinitos indivisíveis¹¹.

Após estabelecer como as afecções quantificáveis dos corpos afetam nossa percepção, Galileu aplica o exemplo das cócegas às qualidades secundárias:

“...que nos corpos externos, para excitar em nós os sabores, os odores e os sons, seja preciso de algo além de grandezas, figuras, multiplicidade e movimentos lentos ou velozes, não o creio, e estimo que, retirados as orelhas, as línguas e os narizes, restam as figuras, os números e os movimentos, e não mais os odores, os sabores ou os sons, os quais fora do animal vivente nada são além de nomes, assim como nada são além de nomes as cócegas e as titilações, removidas as axilas e a pele ao redor do nariz...”¹²

¹¹ *EN*, VI, p. 352.

¹² *EN*, VI, p. 350.

O critério que distingue as qualidades primárias das secundárias é a sua existência ou não para além da sensibilidade. Galileu crê que aquilo que, nas próprias coisas, origina as qualidades que percebemos, é sempre quantificável. Ele rejeita a presença de qualidades não matemáticas no objeto sensível, sendo as qualidades secundárias existentes apenas na sensibilidade do sujeito. Em última instância, no *Ensaíador*, as formas e relações matemáticas são suficientes para fornecer as causas dos fenômenos.

A astronomia matemática tradicional já havia mostrado, desde a Antigüidade, que o movimento é passível de tratamento quantitativo. Com sua tese sobre a percepção e as qualidades primárias e secundárias Galileu superou o problema da heterogeneidade entre os dados da experiência sensível e a matemática. É evidente que ele não eliminou essa heterogeneidade, o vermelho visto por alguém não é uma relação geométrica, ainda é uma qualidade não matemática, mas tem origem em aspectos quantificáveis. Ao atribuir as qualidades secundárias à percepção do sujeito, e ao supor como sua causa fatores quantificáveis não percebidos imediatamente no objeto, Galileu definiu as condições do conhecimento da natureza, conforme havia estabelecido no parágrafo sexto: a leitura do livro escrito em caracteres matemáticos.

Nascimento analisa os mesmos textos, ligando o parágrafo sexto ao 48°. Ele mostra a identidade entre as qualidades primárias e os sensíveis comuns de Aristóteles. De posse da passagem das *Cartas sobre as manchas solares* (1613) onde Galileu nega poder conhecer essências, o intérprete defende que isto está de acordo com sua intenção de

conhecer apenas os aspectos quantificáveis do mundo¹³. Ele não menciona, no artigo, o final do parágrafo 48, o projeto de ontologia geométrica que apresento a seguir.

¹³ NASCIMENTO, 1998, p. 182-183.

1.3. A ontologia do *Ensaíador*

O parágrafo 48, entretanto, não termina assim. Essas teses conduzem a outras ainda mais distantes do universo das sensações. As diminutas partes de matéria que atingem nossos sentidos e são interpretadas como qualidades são obtidas por divisão, em função, por exemplo, do atrito. Dessa divisão também podem se desprender partes ainda menores, indivisíveis, que compõem a luz:

“...enquanto a fragmentação e o atrito permanecem e se limitam a mínimos quantificáveis, seu movimento é temporal e sua operação somente calorífica; em seguida, ao chegar à última e à mais elevada solução em átomos realmente indivisíveis, cria-se a luz, de movimento ou talvez, digamos, expansão e difusão instantâneas, e potente devido à sua, não sei se devo dizer, sutileza, raridade, imaterialidade, ou então outra condição diversa de todas essas e não nomeada, capaz de preencher espaços imensos...”¹⁴

A passagem não deixa dúvidas sobre a defesa galileana de que a matéria é composta de diminutas partes indivisíveis, ou átomos¹⁵, que em última instância se manifestam como luz. Ao lado da característica da difusão instantânea, Galileu

¹⁴ *EN*, VI, p. 352.

¹⁵ Redondi celebrou-se por escrever um *best-seller* (REDONDI, 1983) a partir da correspondência galileana para demonstrar que o processo movido contra Galileu foi devido ao problema da negação o milagre eucarístico da transubstanciação pelos atomistas, entre os quais Redondi se esforça para, a partir de um conjunto considerável de cartas, incluir Galileu (na verdade, como se pode perceber, a simples leitura do 48o. parágrafo do *Ensaíador* bastaria). Após enorme esforço em comprovar o óbvio atomismo galileano, defende que a condenação do autor foi na verdade uma jogada política para livrá-lo da acusação de atomismo, o que também soa estranho pois o autor detalhou sua teoria atômica na obra seguinte à condenação e não sofreu novo processo.

relutantemente sugere a imaterialidade de tais partes e da luz. A prudência fez com que ele concluísse a discussão prometendo aprofundá-la em outra ocasião.

O uso da matemática na física foi estabelecido há tanto tempo que hoje devemos ser alertados que, no tempo de Galileu, era estranho pretender desvelar a estrutura íntima do mundo por meio dela. Embora uma longa tradição de ciências médias ou intermediárias já abordasse a natureza munida de instrumental matemático, e mesmo que nem sempre essas ciências restringissem suas conclusões à previsão de fenômenos, ainda assim a afirmação de Galileu de que a natureza é essencialmente geométrica, e de que o método geométrico é necessário para compreendê-la, evitando um inútil vagar em um obscuro labirinto, surpreende e tem conseqüências. A famosa frase de Galileu parece enunciar um princípio não apenas metodológico mas também ontológico: assim deve ser a física porque a matéria é ela mesma estruturada geometricamente. Tal concepção de física matemática implica em uma série de dificuldades e exige fundamentação. Galileu estava ciente disso: a frase enunciada no parágrafo 6º do *Ensaíador* remete ao 48º parágrafo da mesma obra, onde o autor reduz todo o real à categoria da quantidade, ao atribuir nossas sensações qualitativas à maneira como nossos sentidos percebem determinadas propriedades dos objetos que são em si geométricas. Após oferecer explicações para os sabores, cheiros, sons e outras qualidades que percebemos a partir das formas geométricas e dos movimentos das partes mínimas, produtos da divisão dos diferentes materiais, Galileu propõe a divisão última, em “átomos realmente indivisíveis”, sem extensão, “imateriais”. Trata-se da luz, que, segundo o texto, é capaz de preencher espaços imensos, e cuja difusão é instantânea ou extremamente veloz. Diante dessas duas dificuldades, a obtenção de pontos geométricos através da divisão do contínuo material e a determinação da velocidade

da luz, a discussão é abandonada, para evitar o risco de “perder-se em um oceano infinito”. O autor promete, então, retomar o assunto em um momento mais apropriado. Tal tarefa realmente demandaria grande cuidado, pois tratava-se de responder a uma questão que ultrapassava os limites da discussão sobre os cometas proposta no *Ensaíador*: o que é, afinal, a matéria? Quinze anos depois, nos *Discursos*, Galileu cumpre o prometido. A ciência da resistência dos materiais, que recebeu muito menos atenção dos historiadores da ciência que a ciência do movimento local, consiste na solução para dificuldades criadas pela concepção de matéria suposta no *Ensaíador*.

A teoria, como aparece nos *Discursos*, apresenta diferenças, mas mantém grande parte daquilo que se deixava entrever nessa primeira formulação. O projeto inicial, de apresentar uma fundamentação para a tese da linguagem da natureza, se concretiza de uma maneira mais completa no primeiro dia da obra de maturidade, assunto do próximo capítulo deste trabalho.

Capítulo 2

Matéria e geometria: a ontologia dos *Discursos*

Capítulo 2

Matéria e geometria: a ontologia dos *Discursos*

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 *Ensaíador*, 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 *Ensaíador*, 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 ressurgiu 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, neste capítulo, mostrar que, ao contrário da primeira impressão, o átomo luminoso e os mínimos geométricos do *Ensaíador* 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 *Ensaíador*.

A primeira jornada 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.

2.1. 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...”¹⁶

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:

¹⁶ *Ed. Naz.*, VIII, 50.

“...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...”¹⁷

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 geométrica¹⁸. Isso, contudo, apenas fortaleceu a idéia 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

¹⁷ *Ed. Naz.*, VIII, 50-51.

¹⁸ 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 Mathematics in natural philosophy”. *Mimeo.*).

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...”¹⁹

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”²⁰. 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 inalteráveis, eternas e necessárias."²¹

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..."²²

¹⁹ *Ed. Naz.*, VIII, 51.

²⁰ *Ed. Naz.*, VIII, 51.

²¹ BIENER, 2004, p. 269. 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.

²² 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 dedicado 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. A divergência com Biener se tornará mais clara no decorrer do capítulo.

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. É 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.”²³

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

²³ NASCIMENTO, 1998, p. 171.

igual detalhe de cada passagem da primeira jornada. Maior atenção será dada àquelas mais esclarecedoras a respeito das particularidades do atomismo geométrico de Galileu.

2.2. 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 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...”²⁴

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

²⁴ *Ed. Naz.*, VIII, 51.

firmemente unidas, porque esta é a primeira noção na qual está envolvido o primeiro e simples princípio que devemos supor como conhecido...”²⁵

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...”²⁶

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

²⁵ *Ed. Naz.*, VIII, 51-52.

²⁶ *Ed. Naz.*, VIII, 54.

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”²⁷

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...”²⁸

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

²⁷ *Ed. Naz.*, VIII, 60.

²⁸ *Ed. Naz.*, VIII, 60.

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?...”²⁹

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...”³⁰

²⁹ *Ed. Naz.*, VIII, 61.

³⁰ *Ed. Naz.*, VIII, 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 d'água, 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 indivisíveis³¹.

³¹ Mesmo que ele nunca tenha alcançado uma boa explicação para a tensão superficial. Ver MOLINA, 2006.

2.3. 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?”³²

Se os vácuos diminutos exercem um papel semelhante ao que têm na separação da 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

³² *Ed. Naz.*, VIII, 66.

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 si as partículas de fogo. Desaparecendo estas, os vácuos primitivos voltariam e retornaria a mesma atração e, conseqüentemente, a união das partes.»³³

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

³³ *Ed. Naz.*, VIII, 66-67.

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 momentos³⁴ 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*.

³⁴ 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.

2.4. O contínuo: indivisíveis e magnitudes finitas

Galileu utiliza o antigo paradoxo atribuído a Aristóteles para mostrar que o contínuo é formado por infinitas partes inextensas, unidas por infinitos espaços vazios também inextensos. A versão tradicional do paradoxo, baseada na segunda figura abaixo (fig.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.

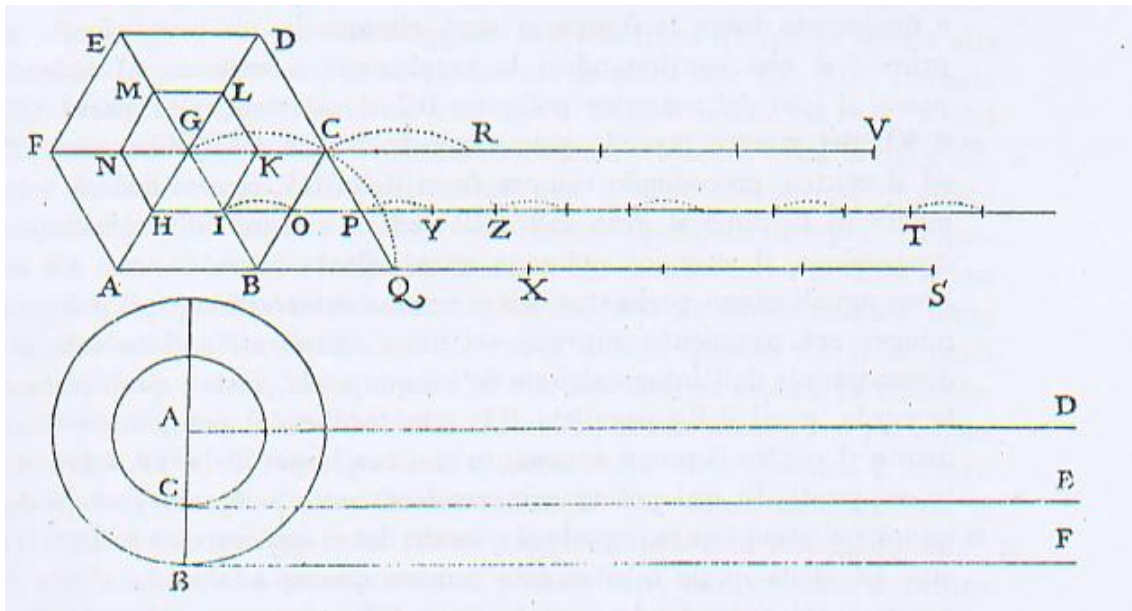


Fig. 1 (EN, VIII, 68)

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*)...”³⁵

Tanto linhas quanto superfícies e sólidos, divididos em partes extensas, mantêm o mesmo tamanho ao reuní-las formando novamente um contínuo, por mais espaços vazios

³⁵ Ed. Naz., VIII, 71-72.

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 conseqüências 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.”³⁶

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 *Ensaíador*, é composta por infinitos átomos desprovidos de grandeza, como os pontos geométricos, os únicos indivisíveis da geometria euclidiana.

³⁶ *Ed. Naz.*, VIII, 72.

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...”³⁷

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:

³⁷ *Ed. Naz.*, VIII, 72-73.

“...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...”³⁸

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 Simplicio 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...”³⁹

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 *Ensaíador*: 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

³⁸ *Ed. Naz.*, VIII, 77.

³⁹ *Ed. Naz.*, VIII, 77.

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”⁴⁰. 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 Simplicio, 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 consequência 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...”⁴¹

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.

⁴⁰ *Ed. Naz.*, VIII, 79.

⁴¹ *Ed. Naz.*, VIII, 80.

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.

2.5. 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 Simplicio, 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*)”⁴². Para mostrá-lo, Salviati questiona Simplicio sobre a quantidade das partes do contínuo. Este último responde:

“...Respondo que 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...”⁴³

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

⁴² *Ed. Naz.*, VIII, 80.

⁴³ *Ed. Naz.*, VIII, 80.

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. Simplicio 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”⁴⁴.

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”⁴⁵.

Esse equívoco fica evidente com a demonstração que Salviati apresenta em seguida (Fig. 2), para explicar “a diferença do infinito e, além disso, a aversão e

⁴⁴ *Ed. Naz.*, VIII, 82.

⁴⁵ *Ed. Naz.*, VIII, 83.

contrariedade natural que encontraria uma quantidade finita em converter-se em infinita”⁴⁶. 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.

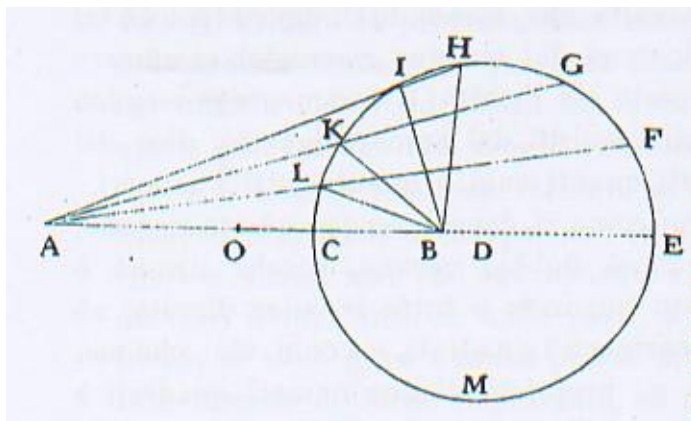


Fig. 2 (EN, VIII, 84)

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 (fig. 3). Ela sustenta a seguinte passagem da demonstração anterior:

⁴⁶ *Ed. Naz.*, VIII, 85. A tradução brasileira diz “a diferença infinita, e ainda mais, a versão...” (GALILEI, 1988, p. 40).

“...afirmo que, se traçarmos a partir 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”⁴⁷

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.

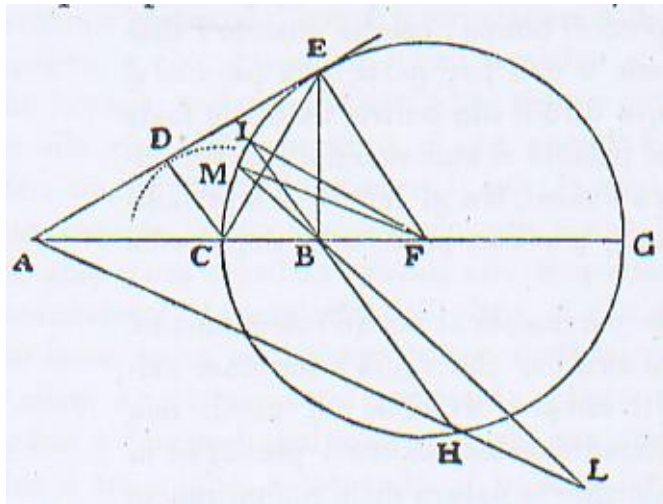


Fig. 3 (EN, VIII, 84)

Ao tratar da transformação do círculo em reta, Mariconda traduz “*perde l’essere e Il poter essere*”⁴⁸ como “perde a existência e a possibilidade de existência”⁴⁹, 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

⁴⁷ Ed. Naz., VIII, 83-84.

⁴⁸ Ed. Naz., VIII, 85.

⁴⁹ GALILEI, 1988, p. 42.

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 idéia de limite, na medida em que trabalha justamente com a idéia 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?...”⁵⁰

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...”⁵¹

⁵⁰ *Ed. Naz.*, VIII, 85.

⁵¹ *Ed. Naz.*, VIII, 86.

Algo de matéria sólida, triturado até se reduzir ao pó mais fino, não pode, como sugerira Galileu no *Ensaizador*, dissolver-se⁵² 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 *Ensaizador*, 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 *Ensaizador*:

⁵² Molina destaca a importância do conceito de *resolutio* (dissolução) que Galileu utiliza para descrever o processo de liquefação (MOLINA, 2006).

“...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?...”⁵³

Salviati decide então retomar outra objeção de Simplicio 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”⁵⁴. Nas palavras da tradição, é necessário mostrar que infinitos indivisíveis podem ser separados em ato. Uma exigência de Simplicio, a saber, de que as partes infinitas estejam divididas ou assinaladas dita o caminho da resposta:

“...faço uma suposição que acredito que o Sr. Simplicio 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...”⁵⁵

Suposto isso,

“...se 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

⁵³ *Ed. Naz.*, VIII, 89.

⁵⁴ *Ed. Naz.*, VIII, 91.

⁵⁵ *Ed. Naz.*, VIII, 91-92.

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...”⁵⁶

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”.

⁵⁶ *Ed. Naz.*, VIII, 92.

2.6. 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”(Fig. 4).

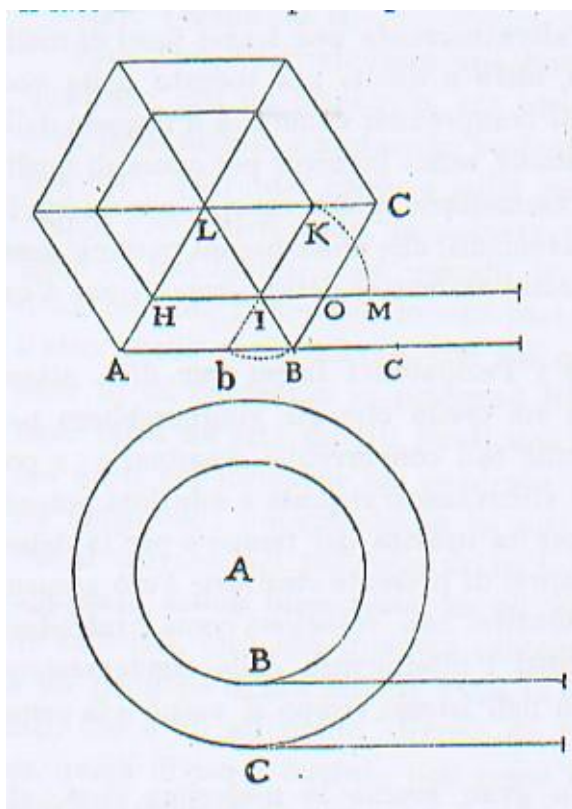


Fig. 4 (EN, VIII, 94)

“...os infinitos 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...”

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.

Simplicio, 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...⁵⁷

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 *Ensaíador*: 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

⁵⁷ *Ed. Naz.*, VIII, 96.

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...”⁵⁸. 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 de Simplicio. 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 metucioso, mas não admite como verdadeiro senão aquilo que pode ser demonstrado concludentemente...”⁵⁹

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.

⁵⁸ *Ed. Naz.*, VIII, 105.

⁵⁹ *Ed. Naz.*, VIII, 134.

2.7. Átomos, partículas e geometria

Os intérpretes que se detiveram em tais passagens e encontraram um rompimento com a tese do *Ensaíador* 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”⁶⁰. 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 grandeza⁶¹. 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 idéia de partícula extensa, dotada de figura e mais assemelhada ao átomo da tradição democritiana. Em segundo lugar, parece ter escapado aos intérpretes que no *Ensaíador* 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

⁶⁰ PALMERINO, C. “Galileo’s and Gassendi’s solutions to the *rota aristotelis* paradox: a bridge between matter and motion theories”. In: LÜTHY; MURDOCH; NEWMAN (eds.). *Late medieval and early modern corpuscular matter theories*. Brill: Leiden, 2001.

⁶¹ MOLINA, 2006. CLAVELIN, 1968.

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 mantêm, 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 *Ensaíador*, 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...”⁶²

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

⁶² *EN*, VIII., 521.

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...”⁶³

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.

De volta à questão inicial, sobre Galileu e o título de filósofo, devo lembrar que a primeira jornada do *Diálogo*, e não dos *Discursos*, já foi chamado de “contribuição mais filosófica de Galileu”⁶⁴. 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, permitirá uma melhor compreensão de seu projeto de física matemática, assim como a realização de parte significativa desse projeto. Isso é assunto para o último capítulo. Antes, para compreender que tipo de ciência o autor justificou com a teoria geométrica da

⁶³ CLAVELIN, 1968, p.434.

⁶⁴ MARICONDA, 1989, p. 127-137.

matéria e para melhor contribuir com a discussão da concepção de ciência de Galileu, é necessário examinar algo do terceiro e do quarto dias, onde o contínuo geométrico exerce um papel decisivo no estudo do movimento. É esse o propósito do capítulo seguinte.

Capítulo 3

Tempo, espaço e geometria

Capítulo 3

Tempo, espaço e geometria

No primeiro dia dos *Discursos* Galileu dá prosseguimento à idéia contida no *Ensaíador* de um atomismo geométrico. Na obra de maturidade aparecem, além da teoria da matéria prometida, os argumentos da tradição e dos adversários do autor, de maneira que somos informados sobre as razões da fundamentação ontológica apresentada. A tese central, contra a impossibilidade de matematização da natureza devido à imperfeição da matéria, afirma a perfeição geométrica da mesma. Paralelamente, o primeiro dia tem como propósito mostrar que o contínuo só pode ser compreendido geometricamente, que os paradoxos que envolvem o contínuo e o infinito são apenas indícios da insuficiência da linguagem comum em abarcar esses conceitos e operar com eles. O segundo dia apresenta algumas conseqüências práticas do atomismo galileano, como, por exemplo, a explicação para a maior resistência à queda de animais pequenos sobre a de animais maiores (feitos evidentemente de carne e ossos, o mesmo material)⁶⁵, o que é basicamente a retomada do problema do arsenal. No terceiro e no quarto dias, a fertilidade do estudo matemático do contínuo mostra sua força no estudo do movimento, agora considerando tempo e espaço como contínuos.

O terceiro dia começa lembrando que "Não existe na natureza nada anterior ao movimento"⁶⁶. Este capítulo trata dessa fertilidade da geometrização da física e do tipo de vantagem que ela traz. Inicialmente mostro como a questão surge no estudo do movimento uniforme e em seguida no do movimento de queda. A análise do quarto dia, sobre do

⁶⁵ *EN*, VIII, 169-170.

⁶⁶ *EN*, VIII, 190.

movimento de projéteis, é apenas mencionada. O propósito aqui não é esgotar ou resumir os dois dias da obra, mas analisar as passagens que podem esclarecer como os princípios obtidos no primeiro dia operam. Além disso, a passagem mais famosa dos discursos, o experimento com plano inclinado descrito com detalhes, proporciona a discussão da relação entre a proposta de física matemática e o surgimento do método experimental, o que fornece mais elementos para a discussão epistemológica em Galileu. Parte dessa discussão é intencionalmente omitida neste capítulo para figurar no próximo. Neste momento basta compreender a fecundidade da proposta galileana de nova ciência.

3.1. O contínuo e o movimento uniforme

Antes da consideração do movimento acelerado e do movimento natural de queda, Galileu examina o movimento uniforme. Embora não parecesse haver maiores dificuldades com a idéia tradicional de movimento uniforme, a saber, aquele em que espaços iguais são percorridos em tempos iguais, Galileu altera essa definição com a adição da palavra quaisquer:

"Parece oportuno acrescentar à velha definição (que chama simplesmente de movimento uniforme àquele que, em tempos iguais, percorre espaços iguais) a palavra quaisquer (*quibuscumque*), ou seja, para todos os tempos iguais..."⁶⁷

Não basta que espaços iguais sejam percorridos em tempos iguais. É fundamental que quaisquer tempos com os respectivos espaços percorridos possam ser tomados, na medida em que um movimento não uniforme, ou seja, cuja velocidade seja variável, pode também apresentar, por coincidência, espaços iguais percorridos em tempos iguais. Embora isso seja importante, dificilmente é o motivo principal da advertência. É ainda mais importante, principalmente em função do estudo do movimento de queda, que se possa tomar qualquer quantidade de tempo, mesmo as mais ínfimas, e nela estudar a relação entre espaço e tempo – mais tarde, também a relação entre velocidade e tempo. É aí que a idéia de contínuo, estudado no primeiro dia, cumprirá seu papel no estudo do movimento. Só o incremento contínuo, presente em qualquer período que se tome, pode explicar tanto o

⁶⁷ EN, VIII, 191.

progresso uniforme no espaço quanto as mudanças na velocidade quando do estudo do movimento de queda.

3.2. O contínuo e a queda dos corpos

Segundo Galileu, de várias maneiras pode-se tentar definir o movimento de queda dos corpos, mas apenas uma delas corresponde à sua essência. Ele afirma ter sido bem sucedido na busca dessa essência e atribui sua confiança à coincidência entre as propriedades “demonstradas” por ele e os “resultados da experiência”. É mais um indício de que a chave para se compreender a geometrização da física em Galileu passa pela investigação desse tipo de “demonstração” e desse tipo de “experiência” e da relação entre elas.

Ele pretende:

"Investigar e explicar a definição que corresponde convenientemente a esse movimento, tal como a natureza o utiliza [...] ainda que seja lícito imaginar arbitrariamente alguma forma de movimento e investigar a seguir as propriedades que dela derivam [...] todavia, visto que a natureza se serve de uma forma determinada de aceleração na queda dos graves, não é inconveniente estudar suas propriedades, fazendo com que nossa definição de movimento acelerado corresponda à essência do movimento naturalmente acelerado..."⁶⁸

A tensão entre o ideal matemático e a natureza que observamos está presente na passagem: seria possível (e lícito) imaginar arbitrariamente um movimento inexistente e dele deduzir propriedades - coisa que, de fato, Galileu mostra que é possível a partir da matemática, para qualquer tipo de movimento que se queira definir. Melhor ainda se a

⁶⁸ *EN*, VIII, 197.

definição corresponder àquela efetivamente utilizada pela natureza. Com efeito, o autor afirma conhecer a essência do movimento de queda dos corpos.

O procedimento que o levou a essa certeza é descrito da seguinte maneira:

“...por que não posso acreditar que tais acréscimos de velocidade não ocorrem segundo a proporção mais simples e mais óbvia? Se considerarmos atentamente o problema, não encontraremos nenhum acréscimo mais simples que aquele que sempre se repete da mesma maneira. O que entenderemos facilmente, se considerarmos a estrita afinidade existente entre o tempo e o movimento: do mesmo modo, com efeito, que a uniformidade do movimento se define e se concebe com base na igualdade dos tempos e dos espaços (com efeito, chamamos movimento uniforme ao movimento que em tempos iguais percorre espaços iguais), assim também, mediante uma divisão do tempo em partes iguais, podemos perceber que os aumentos de velocidade acontecem com simplicidade; concebemos no espírito que um movimento é uniforme e, do mesmo modo, continuamente acelerado, quando, em tempos iguais quaisquer, adquire aumentos iguais de velocidade...”⁶⁹

Essa definição de tempo uniformemente acelerado como aquele no qual em quaisquer tempos iguais há incrementos iguais na velocidade ainda não inclui dados empíricos. O autor especula a existência do movimento acelerado "segundo a proporção mais simples e óbvia". Aqui a palavra "quaisquer" remete novamente à infinita divisibilidade do contínuo. A idéia de incremento contínuo é tratada em seguida, quando o autor fala em velocidade que aumenta e diminui "ao infinito", em uma pedra ascendente que passa por "todos os graus de lentidão" até atingir o repouso. Simplicio objeta que, para que o móvel passe por

⁶⁹ *EN*, VIII, 197.

infinitos graus de lentidão, o repouso nunca é atingido. A resposta de Salviatti esclarece como o contínuo geométrico resolve o problema eleata:

"...É isso o que aconteceria, Sr. Simplício, se o móvel se detivesse durante algum tempo em cada grau de velocidade; acontece, porém, que ele simplesmente passa sem se demorar mais que um instante. E, visto que em todo intervalo de tempo, por menor que seja, existem infinitos instantes, estes são suficientes para corresponder aos infinitos graus de velocidade que diminui..."⁷⁰

O incremento contínuo da velocidade, sem saltos, pode permitir que o móvel passe por todos os infinitos graus de velocidade em infinitos instantes. Na medida em que tais instantes não tem duração, são análogos aos indivisíveis do primeiro dia e ao ponto geométrico, pode-se dizer que Aquiles finalmente, dois mil anos depois, consegue ultrapassar a tartaruga. O problema não se resolveria nos limites da linguagem filosófica tradicional, é insolúvel sem o recurso à geometria, como sugerido por Galileu no início da obra.

Tal incremento contínuo é representado geometricamente por Galileu com uma figura onde ele compara um móvel que se acelera continuamente a partir do repouso com um outro com velocidade constante igual à metade da velocidade final do primeiro móvel (fig. 5).

⁷⁰ EN, VIII, 200-201.

Os princípios da ciência matemática são confirmados por experiências sensíveis. Isso é importante para que não se atribua qualquer empirismo ingênuo a Galileu afirmando que os princípios são obtidos a partir da experiência. O fato de que o fenômeno a ser explicado deve anteceder a explicação tampouco atribui à experiência o caráter de princípio da ciência, pois princípio e ciência, neste contexto, referem-se apenas à explicação. Não haveria sentido em interpretar "confirmar princípios com experiências sensíveis" como "confirmar experiências com experiências". Note-se também que esses princípios são o fundamento de toda a estrutura ulterior, a ciência se desenvolve a partir de princípios, não da experiência. É nesse ponto do segundo dia que aparece a famosa descrição do experimento com plano inclinado.

3.3. O experimento com plano inclinado

A relação entre Galileu e o advento do método experimental ocupou, no último século, papel de destaque nas discussões especializadas. Tratava-se de saber se ele foi ou não um empirista e o "pai" do método experimental. Adeptos de Alexandre Koyré e de Stillman Drake se digladiavam a respeito de determinadas passagens da obra galileana, cada facção com seu conjunto de citações favoritas. Nos últimos anos a discussão passou a ser, por muitos, considerada superada. Há boas razões para se recusar o assentimento irrestrito às interpretações que situam Galileu entre os empiristas ou entre os racionalistas, razões essas que esfriaram o debate. Como disse Popper no *Conjecturas e refutações*, "ninguém presta atenção ao inoportuno que não esquece uma velha rixa". Apesar disso, acredito que a tensão entre as duas interpretações, que parece brotar sozinha dos pesados volumes das *Opere*, ainda pode oferecer material interessante para reflexão. Uma das passagens mais célebres dessa controvérsia é a descrição do experimento com plano inclinado. O exame dessa passagem pode mostrar como compreender melhor o papel de Galileu no nascimento da ciência moderna e, mais particularmente, do método experimental, se ela não for considerada isoladamente, mas parte de um tratado tipicamente moderno que inicia a partir dos fundamentos necessários para as demonstrações posteriores. No capítulo seguinte, mostrarei em que medida as discussões sobre o contínuo e sobre a natureza da física matemática no primeiro dia dos *Discursos* pode iluminar a interpretação da conhecida passagem do terceiro dia sobre o experimento com o plano inclinado.

Aqui, retomo a referida passagem, que ainda impressiona quando lida pela primeira vez, para em seguida situá-la no contexto do terceiro dia. Feito isso, mostro de que maneira

a leitura do primeiro dia pode tornar mais clara qual é, efetivamente, a contribuição de Galileu para o surgimento do método experimental.

Na passagem em questão o autor descreve um experimento com plano inclinado em favor de suas teses sobre a queda dos corpos, mais especificamente no que se refere às relações entre o espaço percorrido e o tempo e entre o mesmo tempo e as diferentes inclinações do plano, derivadas do conceito de movimento uniformemente acelerado. A descrição impressiona por sua semelhança com a concepção atual de experimento:

“...Numa ripa, ou melhor, numa viga de madeira com o comprimento aproximado de oito braças, uma largura de meia braça num lado e três dedos no outro, foi escavada uma canaleta neste lado menos largo com pouco mais que um dedo de largura. No interior desta canaleta perfeitamente retilínea, para ficar bem polida e limpa, foi colada uma folha de pergaminho que era polida até ficar bem lisa; fazíamos descer por ele uma bola de bronze perfeitamente redonda e lisa. Uma vez contruído o mencionado aparelho, ele era colocado numa posição inclinada, elevando sobre o horizonte uma de suas extremidades até a altura de uma ou duas braças, e se deixava descer (como afirmei) a bola pela canaleta, anotando como exporei mais adiante o tempo que empregava para uma descida completa; repetindo a experiência muitas vezes para determinar a quantidade de tempo, na qual nunca se encontrava uma diferença nem mesmo da décima parte de uma batida de pulso. Feita e estabelecida com precisão tal operação, fizemos descer a mesma bola apenas por uma quarta parte do comprimento total da canaleta; e, medido o tempo de queda, resultava ser sempre rigorosamente igual à metade do outro. Variando a seguir a experiência e comparando o tempo requerido para percorrer a metade, ou os dois terços, ou os três quartos, ou para concluir qualquer outra fração, por meio de experiências repetidas mais de cem vezes, sempre se encontrava que os espaços percorridos estavam entre si como os quadrados dos tempos e isso em todas as inclinações do plano, ou seja, da canaleta, pela

qual se fazia descer a bola. Observamos também que os tempos de queda para as diferentes inclinações do plano mantinham exatamente entre si aquela proporção que, como veremos mais adiante, foi encontrada e demonstrada pelo autor. No que diz respeito à medida do tempo, empregávamos um grande recipiente cheio de água, suspenso no alto, o qual, por um pequeno orifício feito no fundo, deixava cair um fino fio de água, que era recolhido num pequeno copo durante todo o tempo em que a bola descia pela canaleta ou por suas partes. As quantidades de água assim recolhidas com uma balança muito precisa, sendo as diferenças e proporções entre os pesos correspondentes às diferenças e proporções entre os tempos; e isso com tal precisão que, como afirmei, estas operações, muitas vezes repetidas, nunca diferiam de maneira significativa...⁷²

Reconhece-se na passagem uma série de elementos que permitem caracterizá-la como um experimento: em primeiro lugar, evidentemente, a submissão da natureza a condições controladas; além disso, o cuidado na preparação para que as condições sejam mais próximas do ideal; o mesmo cuidado na medição dos resultados; a natureza matemática dos mesmos; a confirmação por um grande número de repetições; a possibilidade de reprodução; por fim, mas em primeiro lugar para os objetivos deste trabalho, o fato de que a criação do experimento só é possível graças à existência prévia de uma teoria, que orienta essa criação e da qual o experimento é a confirmação.

Pelo fato de haver uma série de experimentos de pensamento em Galileu, diferentes deste por uma série de motivos, e por essa discussão envolver importantes controvérsias entre as linhas interpretativas, a realização efetiva desse experimento pelo autor foi bastante questionada. O ponto foi definitivamente esclarecido algumas décadas atrás. Foram

⁷² *EN*, VIII, 212-213.

O autor não parece diferenciar, ao menos nessa passagem, experiência sensível (observação passiva) de experimento (intervenção na natureza de modo a observá-la em condições controladas). Isso, aliado ao fato de que ele nunca descreveu ou discutiu o procedimento, como seria de se esperar diante de uma novidade metodológica tão importante, conduz a outra conclusão: ele não parece considerar o experimento algo muito diverso da mera observação, ou seja, por mais que se tratasse de um artifício muito engenhoso, para ele ainda poderia ser apenas um artifício para se obter experiência sensível. Ele aparentemente não pensava, com o experimento, estar diante de uma novidade metodológica tão importante.

Além disso, ainda restam algumas características do que viria a ser o método experimental que não estão contempladas no experimento de Galileu (algumas nem poderiam, pois são realizações posteriores): distribuição estatística dos resultados, obtenção de uma curva cuja média deve ser comparada com a previsão e a apresentação dessas medidas, seja uma a uma seja em forma de gráficos. Mas a realização de um único experimento claramente caracterizado, ainda que com repetições, sem teorizar sobre a experimentação e sem diferenciá-la da experiência sensível passiva faz de Galileu o “pai” do método experimental ou simplesmente o seu “avô”? A resposta a essa pergunta depende de como se define “método experimental”. E os defensores da paternidade deverão concordar que esse filho nunca foi reconhecido por ele.

No capítulo quatro, a análise de outros fatores relacionados com esse experimento permite conclusões fundamentais para este trabalho. Basta, por ora, que se entenda como o

resultado desse confronto com a experiência é descrito como satisfatório, ou seja, os resultados obtidos "nunca diferiam de maneira significativa"⁷⁵.

O quarto dia dos Discursos é dedicado ao movimento violento, ou de projéteis, no qual o móvel cai com movimento uniformemente acelerado enquanto se move uniformemente na horizontal. Assim como no terceiro dia, inúmeras conseqüências são obtidas da definição através da representação geométrica. O estudo dessas conseqüências em ambos os dias exemplificaria a fecundidade da união entre física e geometria, mas sempre mostrando as vantagens dessa união na representação e na compreensão do contínuo.

⁷⁵ *EN*, VIII, 213.

Capítulo 4

O projeto científico de Galileu

Capítulo 4

O projeto científico de Galileu

Este último capítulo trata das conseqüências da ontologia do primeiro dia e do uso dessas conseqüências por Galileu. Refiro-me às teses epistemológicas que orientam as investigações do autor e se deixam entrever, de maneira dispersa e lacunar, ao longo da obra. A escolha de quais passagens considerar e de como articular as teses nelas expostas é responsável por boa parte das controvérsias interpretativas. Neste momento são retomadas as passagens relevantes para a presente discussão que não constam nos *Discursos* e nem no *Ensaíador*, exceto pelo experimento com o plano inclinado retomado do capítulo anterior, a partir dos resultados obtidos da investigação dessas duas obras.

4.1. O desafio de interpretar a ciência de Galileu

Na passagem que encerra o primeiro dia do *Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo*, o autor compara o conhecimento divino e o conhecimento humano:

“...afirmo, quanto à verdade que conhecemos pelas demonstrações matemáticas, que ela é a mesma que conhece a sabedoria divina; mas vos concedo que o modo pelo qual Deus conhece as infinitas proposições, das quais conhecemos algumas poucas, é sumamente mais excelente que nosso, o qual procede por raciocínios e passagens de conclusão a conclusão, enquanto o Seu é uma intuição simples...”¹²⁹

O conhecimento extensivo de deus abrange todas as verdades imediatamente, ao passo que o ser humano pode investigá-las uma a uma. Através de demonstrações necessárias, o conhecimento que se obtém é semelhante ao divino, ainda que restrito ao caso em questão. Outra passagem da mesma obra, esta do início do mesmo primeiro dia, aponta o caminho para essas demonstrações necessárias. Trata-se da prova de que o mundo é perfeito por possuir três dimensões, em contraposição à mesma prova em Aristóteles. Segundo este, isso ocorre porque três é o número perfeito, que representa começo, meio e fim. Galileu desqualifica esse raciocínio e defende a superioridade do raciocínio geométrico, ao mostrar que sobre um ponto não se pode traçar mais que três linhas perpendiculares entre si, ou seja, não há mais que três dimensões no espaço. Por possuir todas as três, é perfeito. A passagem não traz novidades nas conclusões acerca da natureza, conclui o mesmo que Aristóteles, mas é uma entre outras onde o autor defende a superioridade do raciocínio geométrico.

Não há aristotélico, entretanto, que questione a necessidade das demonstrações da geometria. O desacordo está na relação entre geometria e natureza, impossibilitada devido à imperfeição da matéria, ou seja, enquanto a geometria é o terreno da necessidade, a natureza é o mundo do aproximado, do mais ou menos⁷⁶. O ponto em questão, na metáfora do livro, é justamente a defesa de que, ao contrário, a natureza é geométrica e por isso perfeita e apta à investigação geométrica.

Como visto anteriormente, no parágrafo 48 do *Ensaíador*, obra onde a metáfora aparece (incluindo a geometria) pela primeira vez, Galileu defende a distinção entre dois tipos de qualidades percebidas no mundo. Um dos tipos se refere ao que já é percebido geometricamente, como a figura, a posição, o movimento e o contato. O segundo tipo se refere a sensações sem relação direta com a geometria, como sabores, odores e sons. As qualidades desse tipo, segundo Galileu, existem apenas naquele que as percebe e não no objeto percebido. Neste há propriedades geométricas que não são percebidas diretamente e que excitam em nossos sentidos as qualidades do segundo tipo. Em suma, o que há no mundo é geométrico e o que percebemos como não geométrico não existe para além de nossos sentidos.

No *Diálogo*, no terceiro dia, acerca do movimento de translação, Galileu elogia Copérnico e Aristarco por terem

“...confiado tanto naquilo que lhes ditava a razão, que com confiança tenham afirmado que a estrutura do universo não podia ter outra forma que aquela que eles lhe atribuíam...”³⁶²⁻³

⁷⁶ Ver capítulo 2.

Ora, se a razão deve ter prioridade sobre os sentidos e se o mundo é em essência geometria, parece confirmado o Galileu racionalista e platônico de parte dos intérpretes⁷⁷. Que o autor tenha a razão em alta conta é evidente, mas há limites nessa interpretação que apontarei mais adiante. Quanto ao platonismo, é o próprio Galileu quem se declara platônico no primeiro dia do Diálogo. Entretanto, o que ele entende por “platônico” deve ser melhor explicado. A palavra é equívoca na medida em que há vários platonismos no período que vai da Antigüidade ao século XVII. É o caso de esclarecer que, neste contexto, os limites da identificação entre Galileu e Platão, o que farei de maneira resumida neste momento. Ainda assim, posso concluir que para afirmar que o primeiro é platônico dever-se-ia definir platonismo de uma maneira muito específica, que ignore a transcendência das formas platônicas, ao menos das matemáticas, que limite os erros dos sentidos a apenas parte das sensações e que acredite que a matemática pode oferecer conclusões sobre a natureza que vão além das aparências. Em minha opinião isso resultaria em um platonismo bizarro e com um único representante: Galileu. Por isso e por acreditar que atribuir um “ismo” qualquer a um autor não contribui para a sua compreensão e na verdade acaba por atrapalhar, recuso classificá-lo como platônico.

Quanto a situar Galileu entre os racionalistas modernos, destaco inicialmente a própria idéia de “racionalismo” simplista e fonte dos mais variados enganos, na medida em que mascara as diferenças entre os autores que são incluídos sob essa bandeira, assim como ignora que há modernos considerados racionalistas e também empiristas que se servem das idéias de Galileu. A distinção entre os dois tipos de qualidades, que passaram a chamar primárias e secundárias, por exemplo, está presente em ambos os grupos. E como mostrarei a seguir, a razão não é, em Galileu, suficiente para a compreensão da natureza.

⁷⁷ KOYRÉ (1973); CASSIRER (2001); BURTT (1983), por exemplo.

Contra a interpretação ontologizante, é necessário considerar uma passagem das cartas sobre as manchas solares onde o autor recusa o conhecimento de essências:

“...alcançar a essência é algo que considero uma tarefa não menos impossível e um esforço não menos vão nas substâncias próximas elementares que nas remotíssimas e celestes..”⁷⁸

A afirmação é uma resposta às pretensões de seu adversário Scheiner de conhecer a essência das manchas solares, mas o fato de aparecer em um contexto polêmico não deve diminuir seu alcance. Não apenas essas cartas, mas também os outros principais textos de Galileu foram escritos contra um adversário ou um grupo de adversários. A própria forma dialógica de suas duas obras principais evidencia esse ponto. Ainda assim, não parece razoável resumir a questão à retórica. Ao contrário, é relevante que o autor recuse a concepção tradicional de essência, assim como é relevante compreender o alcance dessa recusa. Mas antes, a questão da retórica merece alguma atenção.

Há intérpretes que destacam o caráter polêmico e propagandístico dos escritos galileanos⁷⁹. De fato, escritos de Galileu motivados por polêmica não são exceção, mas regra, como já afirmei, e não consigo imaginar por que a persuasão não deveria ser um fator importante para quem pretende revolucionar uma ciência. Além disso, reduzir a obra galileana à persuasão não é algo que um leitor possa fazer honestamente, ainda que não se possa negar que algumas passagens são retóricas. Por outro lado, têm razão os que destacam que Galileu nem sempre avança sobre bases bem fundamentadas e, particularmente no que se refere ao método, utiliza por vezes novos instrumentos (artefatos, como o telescópio, ou mesmo procedimentos metodológicos) sem discutir a sua validade,

⁷⁸ *EN*, V, 106.

⁷⁹ FEYERABEND (1993); FINNOCHIARO (1980).

como defende Feyerabend. Trata-se apenas de outra característica esperada em um pioneiro.

Ainda assim, não se pode ignorar a afirmação de Galileu de que a maneira correta de se investigar a natureza recorre à experiência sensível e a demonstrações necessárias. Poder-se-ia explicar essa afirmação da seguinte maneira: se o que a física investiga é o mundo material, e se nosso acesso a ele é através dos sentidos, a passagem não deveria surpreender. Como disse Pierre Duhem, em outro contexto e com outro propósito⁸⁰, qualquer explicação sobre as causas de um fenômeno depende, de início, que se apresente o fenômeno a ser explicado (é necessário esclarecer que isso vale apenas para o fenômeno enquanto experiência sensível imediata, sem reflexão e sem intervenção, algo do tipo “corpos caem” ou “corpos quebram”). Mas, diante das passagens citadas anteriormente, principalmente para os intérpretes que insistem em definir Galileu como platônico, a passagem soa contraditória. Essa interpretação, embora possível, não é, isoladamente, aceitável, na medida em que esse não é o único sentido possível de experiência sensível em Galileu. Por esse motivo e porque a passagem não diz em que ordem lógica e de importância estão relacionadas a experiência sensível e as demonstrações necessárias, será esclarecedor examinar melhor a questão da experimentação.

Uma das histórias mais difundidas a respeito de Galileu é a realização do experimento com esferas de diferentes tamanhos em queda a partir da torre de Pisa, com o propósito de refutar a tese tradicional de que a velocidade de queda é proporcional ao peso do corpo; isso teria sido feito à vista de toda a comunidade universitária e teria resultado na humilhação dos defensores da tradição. O episódio foi descrito pela primeira vez por Vincenzo Viviani, ex-secretário particular de Galileu, muitos anos após a morte deste

⁸⁰ DUHEM, 1989 (2).

último⁸¹. Os defensores de que Galileu é o pai do método experimental geralmente insistem na veracidade do experimento descrito por Viviani. Há diversos motivos para que se duvide da história como este a conta, embora não seja absurdo que Galileu tenha de fato, mas sem grande alarde, feito o experimento. Não ser absurdo, entretanto, não prova que algo aconteceu. Felizmente, não é necessário recorrer a esse duvidoso experimento para discutir a presença do método experimental em Galileu. Há outro caso muito mais fecundo para discutir esse ponto.

Há autores que destacam as semelhanças da ciência de Galileu com o aristotelismo, o que parece diminuir o seu caráter revolucionário. Geralmente, nesse caso, aponta-se as semelhanças de método com a tradição aristotélica, em particular no que se refere ao uso da lógica e à defesa explícita desse uso. Ora, em que momento qualquer ciência prescindiu da lógica? Mesmo a mecânica quântica, que contém contradições lógicas em sua teoria, inspirou a criação de uma nova lógica com a qual fosse consistente. E, voltando à questão do aristotelismo de Galileu, este reservou o seu desdém para os aristotélicos e nunca para o próprio Aristóteles, afirmando diversas vezes que, diante das mesmas evidências, o último não hesitaria em concordar com suas conclusões.

⁸¹ *EN*, XIX.

4.2. O problema das aproximações

A propósito do experimento com plano inclinado no terceiro dia dos *Discursos*, resta uma questão ainda mais inquietante: por que as medidas resultantes do experimentos não foram divulgadas pelo autor?

Acredito que algo pode ser obtido, conforme prometido, da consideração do que o autor considerou princípios dessa discussão, ou seja, daquilo que, no primeiro dia, é dito sobre a física matemática. A ciência da resistência dos materiais, assunto dos dois primeiros dias e que também é a ciência da estrutura geométrica da matéria, tem entre outras a função de justificar as teses sobre o movimento enunciadas no terceiro e no quarto dias. Ela o faz de duas maneiras: em primeiro lugar, de maneira mais imediata, o estudo geométrico da natureza é possível porque ela mesma é estruturada geometricamente. Em segundo lugar, é a geometria que permite transpor os paradoxos que surgem da consideração do infinito, ou, no caso, do divisível até o infinitamente pequeno. Em outras palavras, através do raciocínio geométrico é possível transpor as dificuldades inerentes à consideração do contínuo, que tantos paradoxos produziu, desde os antigos eleatas, ao ser tratado sem o recurso à geometria. Ainda assim, não se encontra nas medidas resultantes de experimentos e observação o rigor matemático. Vale lembrar que o argumento clássico enfrentado no primeiro dia fala da imperfeição da matéria, corroborado pela diferença entre exatidão matemática e as aproximações das medidas feitas pelo cientista.

Há no *Diálogo* uma passagem esclarecedora sobre a relação entre o geométrico e o material: Simplicio afirma que não existem figuras geométricas na natureza. Para o aristotélico, não pode ser verdadeiro que uma esfera material toca um plano em um único

ponto. A resposta de Salviati é engenhosa. Ele faz com que Simplicio concorde que as esferas materiais, imperfeitas, não têm as propriedades das esferas perfeitas da geometria. Em seguida, questiona se elas têm as mesmas propriedades de esferas geométricas imperfeitas, ou seja, que tenham a mesma figura da esfera material que se queira.

“...enquanto quereis mostrar-me que uma esfera material não toca um plano material em um ponto, vos servis de uma esfera que não é uma esfera e de um plano que não é um plano, pois, pelo que disseste, ou essas coisas não se encontram no mundo, ou se se encontram deterioram-se, quando se aplicam para produzir o efeito[...] sempre que em concreto aplicais uma esfera material a um plano material, aplicais uma esfera não perfeita a um plano não perfeito; e estes dizeis que não se tocam em um ponto. Mas eu vos digo que também em abstrato uma esfera imaterial, que não seja uma esfera perfeita, pode tocar um plano imaterial, que não seja um plano perfeito, não em um ponto, mas com parte de sua superfície; de modo que até aqui o que acontece em concreto, acontece do mesmo modo em abstrato...”⁸²

Figuras irregulares, ou seja, mais complexas, não deixam, por isso, de ser geométricas, e portanto possuidoras de propriedades em comum com suas contrapartes abstratas. Com isso, Galileu faz com que o próprio aristotélico tenha que concordar com a identidade entre a geometria e as figuras das coisas materiais.

Reconhecendo a idealização geométrica como uma das principais contribuições de Galileu para o nascimento da ciência moderna, Dijksterhuis diz:

⁸² *EN*, VII, 233

"Ao radicalizar a idealização dos fenômenos através da eliminação de todas as influências perturbadoras e ao esquematizar tudo com a mesma radicalidade através de abstrações simplificadoras (por exemplo, ao imaginar todas as verticais como paralelas e ao considerar os corpos como pontos materiais), a mecânica se desenvolveu em uma ciência autônoma, notavelmente afastada da realidade física.."83

Bravo ecoa as palavras de Dijksterhuis e vai além:

"...graças a Galileu, a física mudou de uma teoria concreta em uma teoria abstrata. Tal mudança se deve ao uso da idealização por Galileu. Além disso, por usar suposições idealizacionais, Galileu pôde matematizar a mecânica. E, por fim, devido à introdução de leis idealizacionais, a física precisou recorrer à experimentação como método para relacionar suas leis abstratas com dados empíricos..."84

Além de defender a importância da idealização, Bravo mostra a conexão dela com a experimentação. Há um aspecto dessa conexão, entretanto, que esses autores não parecem ter notado. Sugiro que o motivo da não publicação das medidas resultantes seja justamente a objeção clássica à matematização da filosofia natural que afirma a imperfeição da matéria, aquela que é assunto dos dois primeiros dias dos *Discursos*. Os dados obtidos são aproximados, não exatos como na geometria pura. Para a tradição, essa diferença decorre da diferença fundamental entre o material e o ideal matemático: a matéria é imperfeita. Esse foi o motivo da recusa da matematização da física por alguns autores medievais. A "confirmação experimental" dessa objeção, cuidadosamente medida, só diminuiria o poder persuasivo das novas idéias. Não se pode subestimar a importância da

⁸³ DJIKSTERHUIS, 1969, p. 346.

⁸⁴ BRAVO, 1995, p. 124.

persuasão ou da omissão nesse caso. Drake expressa opinião semelhante sobre a não divulgação dos dados no primeiro artigo sobre os manuscritos:

"...Que Galileu não tenha publicado dados detalhados a respeito de seus experimentos com plano inclinado e não tenha sequer mencionado estes que confirmaram seu conceito restrito de inércia para movimentos horizontais de corpos pesados próximos da superfície da Terra não deve surpreender ninguém. Nenhum de seus oponentes teria se convencido com uma série de dados, porque eles estavam interessados não em leis físicas, mas nas causas das coisas, e causas não são reveladas por experimentos. De fato, sua lei da queda dos corpos foi rejeitada por Descartes como uma mera aproximação..."⁸⁵

Drake atribui a falta de interesse da comunidade filosófica do século XVII em um amontoado de dados, mas não chega a notar que números aproximados e não exatos é que eram o verdadeiro problema. Tampouco se trata aqui do clássico problema geométrico da incomensurabilidade (da diagonal ou de pi, por exemplo), mas das diferenças obtidas em cada medida em relação à previsão experimental e umas em relação às outras - não se obtém medidas por experimentação que sejam exatamente iguais ou que correspondam exatamente à previsão. Como bem percebeu Pierre Duhem⁸⁶, do ponto de vista da lógica um número próximo de outro ainda é outro número, ou seja, "2,721" não é, para um filósofo contemporâneo de Galileu, o mesmo que "2,722".

Unir matemática e física exigiu de Galileu algo que seus interlocutores não estavam preparados para aceitar: as aproximações tão comuns no método experimental posterior. Iluminada pela discussão do primeiro dia, a compreensão da passagem que descreve o

⁸⁵ DRAKE, 1973, 305.

⁸⁶ DUHEM, 1989 (1).

experimento aumenta, mostrando ao mesmo tempo que a tensão entre os intérpretes Drake e Koyré é uma tensão inerente ao pensamento galileano, que se articula a partir da relação entre o ideal geométrico e a experiência. O passo dado por Galileu é uma das rupturas mais fundamentais da revolução científica que se seguiu, assim como uma característica tão fundamental da ciência que dela surgiu que hoje nem nos damos conta do problema lógico com as aproximações.

Conclusão

Conclusão

A passagem mais famosa da obra galileana remete ao parágrafo 48 do *Ensaíador*. Se a natureza é um livro escrito com caracteres matemáticos, é necessário explicar por que não percebemos somente propriedades matemáticas nos objetos. A resposta de Galileu é que as qualidades não matemáticas que percebemos não estão no objeto, mas são conseqüências de propriedades matemáticas dos mesmos que somos incapazes de perceber diretamente, na medida em que nossos sentidos as interpretam como sabor, cheiro ou cor, por exemplo. A teoria da percepção que no *Ensaíador* é acompanhada por uma declaração de intenções ontológicas, necessária para sustentar a física matemática enquanto parte da Filosofia. A natureza é geométrica; assim como na geometria, os componentes mais fundamentais são indivisíveis e infinitamente pequenos. Declarando-se momentaneamente incapaz de resolver os problemas relacionados com tal idéia, o autor promete retomar o assunto no futuro.

O projeto anunciado em 1623 de uma física matemática apoiada em uma teoria da matéria remete ao primeiro dia dos *Discursos*, obra de maturidade onde há uma ontologia geométrica e, principalmente, argumentos contra a adequação da linguagem comum ao estudo da natureza. As partículas mínimas, com grandeza e propriedades decorrentes de sua figura, são contínuos formados por infinitos indivisíveis, nos quais pode se resolver em determinadas condições. Não é mais apenas a luz que é formada por indivisíveis separados entre si, há outras maneiras de separá-los, principalmente a liquefação, de modo que, quando se leva em conta que os diferentes materiais liquefeitos apresentam propriedades diversas e a capacidade de retomar a solidez, dever-se-ia concluir

que há tipos diferentes desses indivisíveis. Não fica resolvido o problema das diferenças entre eles, na medida em que não podem diferir em suas propriedades geométricas. O autor omite essa dificuldade, como faz com outras, aparentemente na esperança de que a questão fosse resolvida futuramente. As dificuldades apontadas com relação à concepção geométrica de matéria nos *Discursos* mostram que não se trata de um projeto inteiramente realizado, o que é coerente com a proposta de apresentar uma nova ciência. Ainda assim, nota-se que o propósito da ciência da resistência dos materiais é fundamentar a nova física, tanto por definir matéria de uma nova maneira quanto por mostrar a fecundidade da investigação geométrica da natureza, além de permitir o estudo do contínuo. Isso fica evidente quando do estudo do movimento, no terceiro e no quarto dias da mesma obra. A consideração do espaço e do tempo como contínuos e a representação geométrica dos mesmos possibilita a descoberta, através de demonstrações necessárias, de novas propriedades dos diferentes tipos de movimento e da composição de movimentos.

Daniel Garber afirma que a teoria da matéria "não era central no pensamento de Galileu"⁸⁷, em referência ao atomismo incomum do *Ensaíador*. Qual seria então o motivo dessa teoria ocupar o primeiro dia dos *Discursos*, obra madura na qual tal teoria serve de base e justificativa para, de modo mais geral, a necessidade do uso da matemática na física, e de modo mais restrito, o estudo do movimento a partir das idéias de tempo e espaço (e aceleração) contínuos?

O que marca a distância entre a física de Galileu e o moderno método experimental é, principalmente, a necessidade de fundamentar filosoficamente o uso da matemática na física. Ele introduz a proposta de física matemática dos *Discursos* com uma

⁸⁷ GARBER, 2006, p.49.

ontologia habilmente construída para recusar a heterogeneidade entre natureza e geometria, o que se torna evidente logo na abertura do primeiro dia, quando se define o que será discutido e é justamente a diferença entre as propriedades de objetos puramente geométricos e as dos objetos materiais. O objetivo anunciado por Salviati no início e aceito por Simplicio no fim do primeiro dia é mostrar que a matéria é geométrica, o que implica em perfeição, inalterabilidade e eternidade, propriedades dos objetos geométricos.

Há em Galileu um sistema filosófico que compreende uma filosofia primeira (ou metafísica da matéria), uma epistemologia coerente com essa metafísica, além da própria física, que constitui a mais óbvia contribuição do autor. As três partes, consideradas em conjunto, seriam capazes de oferecer uma visão mais clara do projeto galileano de fundação da física matemática. Nas palavras de Biener:

"...Até que reconheçamos o papel central da nova concepção de matéria de Galileu na justificação de sua nova ciência, seremos incapazes de situá-lo no contexto da transformação da filosofia natural do início da modernidade..."⁸⁸

A presente pesquisa apóia essa conclusão. A justificação para as novidades dos *Discursos* ainda é feita conforme a tradição: para que a natureza possa ser estudada matematicamente é necessário que ela obedeça às leis da geometria. Em outras palavras, compartilhar da perfeição, da necessidade e da eternidade das demonstrações da geometria. Devidamente fundamentada, a proposta de Galileu superou os paradoxos do contínuo, do infinito e do infinitamente pequeno, ao usar a linguagem matemática para tratar do tempo e do espaço. Os paradoxos eleatas são resolvidos quando se admite que construir o contínuo

⁸⁸ BIENER, 2004, p. 284.

com infinitas partes que possuem grandeza resulta em uma quantidade infinita, ou seja, como na geometria: as infinitas partes que compõem uma extensão qualquer devem ser infinitamente pequenas. Por isso, na formulação galileana a velocidade, por exemplo, aumenta continuamente sem demorar mais de um instante (tempo infinitamente pequeno) em cada um dos valores que assume. Isso é possível através da representação geométrica dessa mesma velocidade. Assim, autor mostra como a linguagem comum não é apropriada para abordar o infinito.

A tensão entre a perfeição matemática e os dados da experiência (seja ela a experiência sensível ou um experimento) está presente em toda a física galileana. Ela se faz presente também na relação entre os cálculos exatos e a imprecisão (maior ou menor aproximação) que caracteriza os dados da experiência. A proposta galileana certamente rendeu frutos, mas não antes que Galileu aceitasse os resultados aproximados que uma observação ou um experimento oferece como uma confirmação da previsão teórica, e não da imperfeição da matéria que não poderia oferecer exatidão. Com isso, percebe-se como Galileu está na origem de procedimentos pouco lembrados mas que são fundamentais para a ciência que surgiu a partir daí: desprezar o atrito, a resistência do ar ou as mais variadas condições que, segundo ele, são “impossíveis de se tratar cientificamente”. É certo que hoje nem sempre se deixa de lado essas questões, mas para tratar cientificamente de algo sujeito ao atrito, à resistência do ar, às mais variadas irregularidades de figura, ou outras condições semelhantes, Galileu percebeu que não poderia exigir exatidão. Não se pode esquecer que, como disse Duhem, do ponto de vista da lógica tradicional, dois números muito próximos ainda são diferentes. A aceitação de resultados aproximados estabeleceu um novo padrão para a relação entre ciência e natureza.

Outro aspecto dessa relação faz parte da concepção de ciência galileana: fica evidente que a previsão teórica está presente quando da experimentação conforme aparece nos *Discursos*, mas que ela não é suficiente, na medida em que uma lei física imaginada não existe necessariamente. Obtida a confirmação empírica, com as concessões já mencionadas, as conclusões geométricas oriundas da previsão teórica são consideradas válidas, para Galileu, na medida em que o princípio já está confirmado. Embora não seja o caso de defender o Galileu de Koyré ou o de Drake, mostrar em que medida cada uma das posições se justifica permite caracterizar Galileu como o autor que apresentou a solução moderna para esse problema, ou seja, como aquele que definiu como seria a relação entre ideal matemático e dados empíricos na física da modernidade. Diante disso, o autor surge como um pioneiro, alguém que se aventurou em um oceano infinito, mas com os equipamentos certos para enfrentá-lo - a linguagem matemática e a tolerância com as aproximações.

Bibliografia

BIBLIOGRAFIA

Bibliografia Primária

1. ARISTÓTELES. *Física I e II*. Trad. De L. Angioni. Campinas: IFCH/UNICAMP, 1999.
2. _____. *On the heavens*. Trad. de W. K. C. Guthrie. Cambridge: Harvard University Press, 1980. (edição bilingüe, grego-inglês). (*Loeb Classical Library*).
3. COPÉRNICO, N. *As revoluções dos orbes celestes*. Trad. de A. D. Gomes e G. Domingues. Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1984.
4. FAVARO, A. (ed.). *Edizione Nazionale delle opere di Galileo*. Firenze: S. A. G. Barbére Editore, 1938, v. 19, p. 21-543.
5. GALILEI, G. *Ciência e fé (cartas)*. Intr. e trad. de C. A. R. Nascimento. São Paulo: Nova Stella, 1988.
6. _____. *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*. Trad., intr. e notas de A. B. Marí. Madrid: Alianza, 1994.
7. _____. *Dialogue concerning the two chief world systems - Ptolemaic & Copernican*. Trad. de S. Drake. Berkeley: University of California Press, 1953.
8. _____. *Duas novas ciências*. Trad. de P. Mariconda e L. Mariconda. São paulo: Nova Stella Editorial, 1985.
9. _____. *The controversy of the comets of 1618*. Trad. de S. Drake e C. D. O'Malley. University of Pensylvania Press, Phipladelphia, 1960.

10. _____. *A mensagem das estrelas*. Rio de Janeiro: MAST/Salamandra, 1987.
11. _____. *Sidereus Nuncius – Le Messenger Celeste*. Trad. de I. Pantin. Paris: Les Belles Lettres, 1992.
12. OSIANDER, A. *Ad lectorem de hypothesisibus huius operis*. In: KOYRÉ, A., *Nicholas Copernic: Des révolutions des orbés célestes*. Paris: Félix Alcan, 1934.

Bibliografia secundária

1. AGAZZI, E. "Was Galileo a realist?". In: *Physis*, 1994, v. 31, p. 273-296.
2. BARKER, P. "Copernicus, the orbs, and the equant". In: *Synthese*, 1990, v. 83, p. 317-323.
3. BARKER, P. & GOLDSTEIN, B. R. "The role of the comets in the copernican revolution". In: *Stud. Hist. Phil. Sci.*, 1998, v. 19/3, p. 299-319.
4. BIENER, Z. "Galileo's first new science: the science of matter". *Perspectives on science*, 2004, 12:3.
5. BONELLI, M. I. & SHEA, W. R. *Reason, experiment and mysticism in the Scientific Revolution*. New York: Science History Publication, 1971.
6. BRAVO, E. "Galileo's revolution". *Mexican Studies in the history philosophy of science*, 1995, 172, p. 109-128.
7. BUCCIANINI, M. "Dopo il *Sidereus Nuncius*: il copernicanesimo in Italia tra Galileo e Keplero". In: *Nuncius*, 1994, v. 9, p. 15-35.
8. BURTT, E. A. *As bases metafísicas da ciência moderna*. UNB, Brasília, 1983.

9. CHALMERS, A. "Galileo's telescopic observations of Venus and Mars". In: *Brit. J. Phil. Sci.*, 1985, v.36, p. 175-191.
10. CLAGETT, M. "Nicole Oresme and medieval scientific thought". *Proceeding of the American Philosophical Society*, v. 108 (4), p. 298-309, 1964.
11. _____. *The science of mechanics in the middle ages*. Madison: University of Wisconsin Press, 1979.
12. CLAVELIN, M. "Conceptual and technical aspects of the galilean geometrization of the motion of heavy bodies". In: SHEA, W. R. (ed.), *Nature mathematized* (v.1). Dordrecht: D. Reidel, 1983.
13. _____. *La philosophie naturelle de Galilée*. Paris: Armand Colin, 1968.
14. COHEN, M. R. & DRABKIN, I. E. *A Source books of Greek Science*. Cambridge: Harvard University Press, 1966.
15. COHEN, J. B. *O nascimento de uma nova física: de Copérnico a Newton*. Trad. de G. de Andrada e Silva. São Paulo: São Paulo-Edart, 1967.
16. CROMBIE, A. C. *Augustin to Galileo*. Cambridge: Harvard University Press, 2v, 1979.
17. _____. *Robert Grosseteste and the origins of experimental science*. Oxford. At the Clarendon Press, 1953.
18. _____. "Science and the arts in the renaissance: the search for truth and certainty, old and new". In: *Hist. Sci.*, v. 18, 1980, p. 233-246.
19. DAME, B. "Galilée et les taches solaires". In: *Rev. Hist. Sci.*, 1966, 19, p. 307-370.
20. DIJKSTERHUIS, E. J. *The mechanization of the world picture*. Trad. de C. Dikshoorn. London: Oxford University Press, 1969.
21. DRAKE, S. *Discoveries and opinions of Galileo*. Doubleday, Garden City, 1957.

22. _____. *Galileo at work, His scientific biography*. Chicago: University of Chicago Press, 1978.
23. _____. "Galileo's experimental confirmation of horizontal inertia: unpublished manuscripts". *Isis*, 1973, v. 64.
24. _____. "Hipparchus-Geminus-Galileo". In: *Stud. Hist. Phil. Sci.*, 1989/1, v. 20, p. 47-56.
25. _____. "The evolution of *De Motu*". In: *Isis*, v. 67, 1976.
26. DRAKE; MCLAHLAN. "Galileo's discovery of the parabolic trajectory". *Scientific American*, 1975, 232, p. 102-110.
27. DREYER, J. L. E. *A history of astronomy from Thales to Kepler*. New York: Dover, 1953 (reimpressão de 1906).
28. DUHEM, P. *Le Système du monde: histoire des doctrines cosmologiques de platon a Copernic*. Paris: Hermann, 1913-16 (v. 1-5), 1954-58 (v. 6-8).
29. _____. "Algumas reflexões acerca da física experimental". In: *Ciência e Filosofia*, 1989, 4, p. 87-120.
30. _____. "Física e Metafísica". In: *Ciência e Filosofia*, 1989, 4, p. 41-62.
31. DUTTON, B. "Physics and metaphysics in Descartes and Galileo". *Journal of the history of philosophy*, 1999, 37:1.
32. ESPOZ, R. *Un conflicto en el origen de la ciencia moderna: Copérnico u Osiander*. Editorial Universitaria, Santiago, 1989.
33. ÉVORA, F. R. R. *A revolução copernico-galileana*, 2v. Campinas: CLE-UNICAMP, 1993.
34. _____. "A origem do conceito do *impetus*". In: *Cad. Hist. Fil. Ci.*, 1995, s. 3, v. 5, p. 281-305.

35. _____. "Filopono de Alexandria e a crítica ao conceito de matéria-prima".
In: *Cad. Hist. Fil. Ci.*, 2000, s. 3, v. 10, n. 1, p. 55-76.
36. FEYERABEND, P. *Contra o método*. Lisboa: Relógio D'água, 1993.
37. FINOCCHIARO, M. *Galileo and the art of reasoning*. Dordrecht: D. Reidel, 1980.
38. _____. "To save the phenomena: Duhem on Galileo". In: *Rev. Int. Phil.*,
v. 182, 1992/3, p. 291-310.
39. GANDT, F. de. "Nascimento e metamorfose de uma teoria matemática: A geometria dos indivisíveis na Itália". *Cadernos de história e filosofia da ciência*, 10 (1986), p. 27-59.
40. GARBER, D. "Physics and foundations". In: PARK, K.; DASTON, L. (eds.). *Early Modern Science*. New York: The Cambridge University Press, 2006, p. 21-69.
41. GEYMONAT, L. *Historia de la filosofía y de la ciencia*. Barcelona: Crítica, 1985.
42. GIUSTI, E. "Il filosofo geometra: matematica e filosofia naturale in Galileo". In: *Nuncius*: 1994/2, p. 485-498.
43. GODDU, A. "The realism that Duhem rejected in Copernicus". In: *Synthese*, 1990, v. 83, p. 301-315.
44. GRANT, E. *A source book in the medieval science*. Cambridge: Harvard University Press, 1974.
45. _____. *Late Medieval thought, Copernicus, and the Scientific Revolution*. *Journal for the History of Ideas*, v. 23, p. 197-220, 1962.
46. HUTCHISON, K. "Sunspots, Galileo and the orbit of the earth". In: *Isis*, 1990, v. 81, p. 68-74.
47. KANT, I. *Crítica da Razão Pura*. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1994.

48. KERZBERG, P. “La cosmologie de Copernic et les origins de la physique matématique”. In: *Ver, Hist. Sci.*, 1981, v. 34/1, p. 3-23.
49. KUHN, T. S. *The copernican revolution*. Cambridge: Massachussets, 1957.
50. KOYRÉ, A. *Études sur l’histoire de la pensée scientifique*. Paris: Gallimard, 1973.
51. _____. *Études galiléennes*. Paris: Hermann, 1966.
52. _____. *From the close to the infinite universe*. Baltimore: John Hopkins, 1957.
53. _____. *La révolution astronomique*. Paris: Hermann, 1961.
54. _____. *Do mundo fechado ao universo infinito*. Rio de Janeiro: Ed. Forense Universitária, 1986.
55. _____. *Estudos de história do pensamento científico*. Rio de Janeiro: Ed. Forense Universitária, 1991.
56. _____. *Estudos Galilaicos*. Lisboa: Dom Quixote, 1986.
57. LEVERE, T. & SHEA, W. (eds.). *Nature, experiments and the sciences: Essays on Galileo and the History of Science in Honour of Stillman Drake*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers (Boston Studies in the Philosophy of Science, v. 120), 1990.
58. LOPARIC, Z. *Andreas Osiander: prefácio ao “De revolutionibus orbium coelestium” de Copérnico*. In: *Cadernos de história e filosofia da ciência I - 1980*. Campinas: CLE-UNICAMP.
59. 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, p. 127-137.
60. _____. “Duhem e Galileu: uma reavaliação da leitura duhemiana de Galileu”. In: ËVORA, F. R. R. (ed.), *Século XIX: O nascimento da ciência contemporânea*. Campinas: CLE/UNICAMP, 1992, p. 123-160.

61. MCMULLIN, E. (ed.). *Galileo: Man of science*. Princeton: Scholar's Bookshelf, 1988.
62. MOLINA, F. "La teoria galileana de La matéria: resolutio e infinitos indivisibles". In: MARTINS; BOIDO; RODRIGUEZ. *Física: estudos filosóficos e históricos*. Campinas: AFHIC, 2006).
63. MOSCHETTI, M. *A Unificação do Cosmo: o rompimento de Galileu com a distinção aristotélica entre céu e Terra*. Dissertação de Mestrado – UNICAMP, 2002.
64. _____. "Copérnico x Osiander: breve nota sobre um célebre equívoco". In: SOUZA, O.A. (org.). *Universidade: Ação e Interação*. Guarapuava: UNICENTRO, 2003, p. 194-198.
65. _____. "Cosmologia bipartida: a distinção aristotélica entre céu e Terra". In: *Analecta*, 2003, v.4, n.1, p. 29-37.
66. _____. "Crises e revoluções: a revolução copernicana segundo Thomas Kuhn". In: *Analecta*, 2004, v.5, n.1, p. 45-54.
67. _____. "Galileu e as cartas sobre as manchas solares: a experiência telescópica contra a inalterabilidade celeste". *Especiaria*, v. 9, n. 16, 2006, p. 313-340.
68. _____. "Qual Galileu". In: *Guairacá*, 2004, n. 20.
69. NASCIMENTO, C. A. R. *Para ler Galileu Galilei*. São Paulo: Nova Stella, 1990.
70. _____. *De Tomás de Aquino a Galileu*. Coleção Trajetória 2. Campinas: IFCH/UNICAMP, 1995.
71. NAMER, E. "L'intelligibilité mathématique et l'expérience chez Galilée". In: *Rev. Hist. Sci.*, 1964, v. 17, p. 368-384.
72. NAYLOR, R. "An aspect of Galileo's study of parabolic trajectory. *Isis*, 1975, 66.
73. OSLER, M. J. "Galileo, motion, and essences". In: *Isis*, 1973, v. 64, p. 504-509.

74. PALMIERI, P. "Mental models in Galileo's early mathematization of nature". *Stud. Hist. Phil. Sci.*, 2003, 34, p. 229, 264.
75. REDONDI, P. "I fondamenti metafisici della fisica di Galileo". In: *Nuncius*, 1997/2, v. 12, p. 267-289.
76. _____. *Galileo eretico*. Torino: Einaudi, 1983.
77. REEVES, E. *Painting the heavens: art and science in the age of Galileo*. Princeton: Princeton University Press, 1999.
78. SANTILLANA, G. "The role of art in the scientific renaissance". In: CLAGETT, M. (ed.), *Critical problems in the history of science*. Madison: University of Wisconsin Press, 1969, p. 33-65.
79. SANTOS, C. S. (ed.). *Galileo-Kepler: el mensaje y el mensajero sideral*. Madrid: Alianza, 1984.
80. SHEA, W. R. *Galileo's intellectual revolution*. New York: Neale Watson, 1977.
81. _____ "The revelations of the telescope". In: *Nuncius*, 1996, v. 11, p. 507-526.
82. _____ "Galileo, Scheiner, and the interpretation of the sunspots". In: *Isis*, 1970, v. 61, p. 498-519.
83. STABILE, G. "Linguaggio della natura e linguaggio della scrittura in Galileo - dalla istoria sulle macchie solari alle lettere copernicane". In: *Nuncius*, 1994, v. 9, p. 37-64.
84. VAN HELDEN, A. & WINKLER, M. G. "Representing the heavens - Galileo and visual astronomy". In: *Isis*, 1992, v. 83, p. 195-217.
85. VAN HELDEN, A. "Galileo and Scheiner on sunspots: a case study in the visual language of astronomy". In: *Proc. Amer. Phil. Soc.*, 1996, v. 140, p. 358-396.
86. _____. "The Telescope in the Seventeenth Century". In: *Isis*, 1974, v. 65, p. 38-58.

87. VASCONCELOS, J. C. R. “Um teorema de inércia e o conceito de velocidade nos ‘Discorsi’ de Galileu”. In: *Cad. Hist. Fil. Ci.*, 1993, s. 3, v. 3(1/2), p. 67-83.

Anexo

ANEXO

Parágrafo 48 do *Ensaíador*

Leia então V. S. Ilustríssima aquilo que há no final desta proposição: a esse propósito resta-me pouco a dizer, havendo dito o suficiente acima. Portanto, manifestar-me-ei apenas, como faz Sarsi, para sustentar que o incêndio do cometa possa durar meses e meses, enquanto outras coisas que surgem no ar, como relâmpagos, raios, estrelas cadentes e similares são momentâneos, estabelecendo duas espécies de matérias combustíveis: umas leves, ralas, secas e sem nenhuma adesão de umidade, outras viscosas, gelatinosas, e em consequência com alguma umidade aderida. Das primeiras cumpre que haja combustão momentânea; das segundas, o incêndio diurno, como são os cometas. Mas aqui surge, para mim, uma muito manifesta repugnância e contradição: por que, se assim fosse, os relâmpagos e os raios deveriam, como as coisas que se formam de matéria leve e rarefeita, surgir nas partes altíssimas, e os cometas, como inflamados em matéria mais gelatinosa, corpulenta, e em consequência mais grave, nas partes mais baixas. Todavia, ocorre o contrário, porque os relâmpagos e raios não se formam nem ao menos um terço de milha acima da Terra, como é assegurado pelo pequeno intervalo de tempo que há entre vermos o relâmpago e ouvirmos o trovão, quando troveja sobre o vértice. Mas que os cometas estejam indubitável e incomparavelmente acima, caso outra coisa não o manifeste suficientemente, temo-lo de seu movimento diurno do oriente para o ocidente, similar ao das estrelas. E tanto basta haver considerado a respeito dessa experiência.

Resta-me então que, em conformidade com a promessa feita acima a V. S. Ilustríssima, eu fale de certo pensamento meu acerca da proposição “o movimento é causa de calor”, mostrando de que modo ela me parece verdadeira. Mas primeiro a necessidade impõe algumas considerações sobre isto a que chamamos “calor”, do qual suspeito grandemente que, ao universalizá-lo, tenhamos formado um conceito muito distante do verdadeiro, porquanto se crê que ele seja um verdadeiro acidente, afecção e qualidade que realmente resida na matéria que sentimos quente.

Portanto digo que é a partir da necessidade, quando concebo uma matéria ou substância corpórea, que a concebo também como limitada e figurada por esta ou aquela figura, grande ou pequena em relação a outras, ocupando este ou aquele lugar, neste ou naquele tempo, em movimento ou parada, em contato ou não com outro corpo, como uma, poucas ou muitas, nenhuma imaginação permite que a separe de tais condições; mas que ela deva ser branca ou vermelha, amarga ou doce, sonora ou muda, de odor agradável ou desagradável, não me sinto forçado a apreendê-la necessariamente acompanhada destas últimas condições; ao contrário, se não fossem discernidas pelos sentidos, talvez o discurso ou a imaginação por si mesma não as alcançassem jamais. Por isso penso que estes sabores, odores, cores, etc., à parte do sujeito no qual parecem residir, não sejam outra coisa que puros nomes, mas tenham residência unicamente no corpo sensitivo, de modo que, removido o animal, sejam levadas e aniquiladas todas estas qualidades. Todavia nós, na medida em que lhe impusemos nomes particulares e diferentes daqueles dos outros acidentes primários e reais, agora queremos crer que fossem real e verdadeiramente diversos daqueles.

Eu acredito poder explicar mais claramente meu conceito através de algum exemplo. Movo minha mão ora sobre uma estátua de mármore ora sobre um homem vivo. Quanto à

ação que vem da mão, com respeito a essa mão ela é a mesma sobre um e outro objeto, e está entre aqueles acidentes primários, movimento e contato, não a chamamos por outro nome. Mas o corpo animado que recebe tal operação sente diversas afecções conforme é tocado em diversas partes. E ao ser tocado, por exemplo, sob as plantas dos pés, sobre os joelhos ou sob as axilas, sente, além do toque comum, uma outra afecção, a qual impusemos um nome particular, chamando-a “cócega”: tal afecção é toda nossa, e de modo algum da mão. Parece-me que gravemente erraria quem dissesse haver na mão, além de movimento e contato, uma outra faculdade diversa desta, isto é, fazer cócegas, como se a cócega fossem um acidente que residisse nela. Um pedaço de papel ou uma pena, ligeiramente friccionada com qualquer parte de nosso corpo faz, por si mesma, exatamente a mesma operação, que é mover-se e tocar. Mas em nós, ao tocar-nos entre os olhos, no nariz e abaixo das narinas, excita uma titilação quase intolerável, e em outra parte a pena mal se faz sentir. Tal titilação é completamente nossa, e não da pena, e removido o corpo animado e sensitivo, ela nada é além de um puro nome. Ora, de tal e não maior existência creio que possam ser muitas qualidades que são atribuídas aos corpos naturais, como sabor, odor, cor, e outras.

Um corpo sólido e, como se diz, bem material, movido e aplicado a qualquer parte da minha pessoa, produz em mim aquela sensação a que chamamos “tato”, a qual, ainda que ocupando todo o corpo, todavia parece residir principalmente nas palmas das mãos, mais exatamente nas pontas dos dedos, com as quais nós sentimos pequeníssimas nuances de áspero, liso, mole e duro que, com outras partes do corpo, não distinguimos tão bem. E dessas sensações umas são mais gratas, outras menos, segundo a diversidade das figuras dos corpos tangíveis, lisas ou escabrosas, agudas ou obtusas, duras ou flexíveis. E esse sentido, como mais material que os outros, e sendo feito da solidez da matéria, tem relação

com o elemento da terra. E por que entre esses corpos alguns se dissolvem continuamente em partículas mínimas, das quais umas, mais pesadas que o ar, descem, e outras, mais leves, sobem; destas nascem talvez dois outros sentidos, na medida em que elas ferem duas partes de nosso corpo muito mais sensíveis que a pele, que não sente a incursão de matérias tão sutis, ténues e flexíveis. E aquelas partes mínimas que descem, recebidas sobre a parte superior da língua, penetrando-a, misturada com a sua umidade, com sua substância, produzem os sabores, suaves ou ingratos, segundo a diversidade dos contatos com as diversas figuras dessas partes, e conforme elas forem poucas ou muitas, mais ou menos velozes. As outras, que sobem, ao entrar pelas narinas ferem algumas papilas que são o instrumento do olfato, e ali igualmente são recebidas e seus contatos e passagens com nosso gosto ou aborrecimento, na medida em que suas figuras são estas ou aquelas, e os seus movimentos, lentos ou velozes, e estes mínimos, poucos ou muitos. E encontram-se bem dispostas, quanto ao lugar, a língua e a cavidade nasal: aquela posta por baixo para receber as incursões descendentes, e esta acomodada para aquelas que sobem. Talvez as que excitam os sabores acomodem certa analogia com os fluidos que descem através do ar, e com os odores as chamam que sobem. Resta pois o elemento ar para os sons, os quais vêm a nós de baixo, de cima e das laterais, sendo constituídos no ar, cujo movimento em si mesmo, isto é, em sua região própria, ocorre igualmente em todas as direções; e a posição da orelha é própria, tanto quanto possível, para receber de todos os lugares. Os sons então são produzidos e sentidos por nós quando (sem qualquer qualidade sonora ou trans-sonora) um freqüente tremor do ar, encrespado em diminutas ondas, move certa cartilagem de um certo tímpano⁸⁹ localizado dentro da orelha. As maneiras exteriores de causar esse

⁸⁹ É o nome de uma espécie de tambor, em italiano e em português, embora no texto já aparece como seu sentido atual..

encrespamento no ar são muitíssimas, as quais talvez se reduzam em grande parte ao tremor de algum corpo que, ao chocar-se com o ar, o encrespa, e com grande velocidade propagam-se através dele as ondas; da maior frequência das últimas nasce a agudeza do som, assim como a gravidade de sua raridade. Todavia, que nos corpos externos, para excitar em nós os sabores, os odores e os sons, seja preciso de algo além de grandezas, figuras, multiplicidade e movimentos lentos ou velozes, não o creio, e estimo que, retirados as orelhas, as línguas e os narizes, restam as figuras, os números e os movimentos, e não mais os odores, os sabores ou os sons, os quais fora do animal vivente nada são além de nomes, assim como nada são além de nomes as cócegas e as titilações, removidas as axilas e a pele ao redor do nariz. E, na medida em que os quatro sentidos considerados têm relação com os quatro elementos, creio também que a vista, sentido superior a todos os outros, tenha relação com a luz, embora com a proporção de excelência que há entre o finito e o infinito, entre o temporal e o instantâneo, entre a quantidade e o indivisível, entre a luz e as trevas. Desta sensação e das coisas relacionadas com ela não julgo compreender senão pouquíssimo, e para explicar este pouquíssimo, ou melhor, para esboçá-lo por escrito, não haveria tempo que bastasse. Portanto, ponho-me em silêncio.

De volta ao meu propósito inicial, já visto de que modo muitas afecções que se considera residentes nos objetos externos não possuem outra existência que não em nós, sendo apenas nomes fora de nós, declaro-me bastante inclinado a crer que o calor seja deste gênero, e que aqueles materiais que em nós produzem e fazem sentir o calor, os quais chamamos com o nome geral “fogo”, sejam uma multiplicidade de mínimos corpúsculos, figurados de tal e tal modo, movidos com tal e tal velocidade. Estes, ao encontrar o nosso corpo, penetram-no com sua extrema sutileza, e seu contato, quando de sua passagem através de nossa substância e sentido por nós, seja a afecção a que chamamos “calor”, grato

ou desagradável segundo a multiplicidade e a menor ou maior velocidade desses corpúsculos que ferem e penetram, de modo que seja grata aquela penetração pela qual é facilitada nossa necessária e insensível transpiração, e desagradável aquela que causa divisões demasiado grandes e dissoluções em nossa substância. Dessa maneira, em suma, a operação do fogo não é outra que, ao mover-se, penetrar com sua máxima sutileza todos os corpos, dissolvendo-os mais rápida ou mais vagorosamente segundo a multiplicidade e a velocidade de suas pequenas partes e a densidade ou rareza da matéria desses corpos. Muitos destes corpos são de tal maneira que, em seu esfacelamento, a maior parte se transforma em outros mínimos corpos ígneos e a dissolução prossegue até que a matéria se encontre dissolvida. Mas que, além de figura, multiplicidade, movimento, penetração e contato, haja no fogo outra qualidade, e que esta seja o calor, não o creio, e estimo que este seja inteiramente nosso; que, removido o corpo animado e sensível, o calor nada seja além de um simples vocábulo. Na medida em que essa afecção é produzida em nós por meio da passagem e do contato de mínimos ígneos através de nossa substância, é manifesto que, se eles estivessem parados, sua operação seria anulada. Assim vemos que uma quantidade de fogo, retido nas porosidades e sinuosidades de uma pedra calcinada, não se aquece, ainda que o tenhamos na mão, porque ele está parado. Mas se a pedra for posta na água, onde ela, devido à sua gravidade, possui uma propensão ao movimento que não possuía no ar, e sendo mais abertos os meatos da água, o que não ocorria com o ar, os mínimos ígneos escapam e encontram nossa mão, penetrando-a; e nós sentimos calor.

Portanto, para excitar o calor não basta a presença dos corpúsculos ígneos, mas é necessário também seu movimento; a mim parece, pois, haver sido dito com grande razão que o movimento é causa do calor. Este é o movimento pelo qual as flechas e outras lenhas queimam e o chumbo e outros metais se liquefazem, quando os mínimos do fogo, movidos

velozmente, por si mesmos ou, não bastando sua própria força, empurrados por um impetuoso vento de fole, penetram todos os corpos e, entre estes, alguns se transformam em outros mínimos ígneos voadores, outros em diminuta poeira, e outros são liquefeitos e tornam-se fluidos como a água. Mas a seguinte proposição, tomada do senso comum, que uma pedra, um ferro ou um lenho se aquece ao ser movido, considero-o uma solene tolice. Ora, a fricção entre dois corpos duros, seja através da dissolução de parte deles em mínimos móveis ou através da liberação de pequenas chamas contidas, leva-os finalmente ao movimento, com o qual encontram nossos corpos e os penetram e percorrem, e a alma sensitiva, ao sentir os contatos em sua passagem, sente aquela afecção grata ou desagradável que nós denominamos “calor”, “ardor” ou “queimação”. E porventura enquanto a fragmentação e o atrito permanecem e se limitam a mínimos quantificáveis, seu movimento é temporal e sua operação somente calorífica; em seguida, ao chegar à última e à mais elevada solução em átomos realmente indivisíveis, cria-se a luz, de movimento ou talvez, digamos, expansão e difusão instantâneas, e potente devido à sua, não sei se devo dizer, sutileza, raridade, imaterialidade, ou então outra condição diversa de todas essas e não nomeada, capaz de preencher espaços imensos.

Eu não gostaria, Ilustríssimo Senhor, de me perder em um oceano infinito, de onde não pudesse mais voltar; tampouco desejo, enquanto procuro resolver uma dúvida, criar cem delas, o que temo haver ocorrido em parte devido a este pouco que estou afastado da praia; por isso prefiro manter-me reservado até outra ocasião mais oportuna.

