

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DAS CIÊNCIAS



**As forças que equilibram o universo: revisitando Robert Hooke**

Isadora Cristina de Sousa Monteiro

**Mestrado em História e Filosofia das Ciências**

Dissertação orientada por:

Ricardo Lopes Coelho

*Esta tese é dedicada a todos aqueles que contribuíram para o desenvolvimento da ciência e do conhecimento e cujo nome não é recordado.*

## Agradecimentos

Agradeço aos Professores e Investigadores com os quais me cruzei no meu percurso pelo mestrado em História e Filosofia das Ciências, uma vez que contribuíram para a minha aprendizagem desta área de estudos. Devo um agradecimento especial ao Professor Ricardo Lopes Coelho por ter aceite orientar esta tese, tendo-me acompanhado atentamente neste processo.

Devo também um agradecimento à Biblioteca da Royal Society por ter cedido uma cópia do documento *On the inflection of a direct motion into a curve by supervening Attractive principle* autorizando a utilização da imagem correspondente ao diagrama de Hooke neste estudo. Agradeço igualmente ao Instituto Rocha Cabral por ter disponibilizado o seu espaço para a realização da parte experimental deste trabalho.

Deixo ainda um agradecimento especial ao João Amorety e à Maria Cintra, por todo o apoio e pelo tempo despendido com a leitura deste trabalho.

## Abstract

**Keywords:** Robert Hooke – Forces – Law of Universal Gravitation – Hooke’s Law - Isaac Newton

Robert Hooke contributed decisively to the development of science in the 17th century. He left us a legacy in astronomy, mechanics, geology, chemistry and even meteorology. This author was forgotten for several decades, partly to the prominence that Isaac Newton, his peer, acquired. The controversy between these two scientists concerning the creation of the Law of Universal Gravitation has been the subject of several studies. In this paper we will revisit the legacy of Robert Hooke, focusing on his contributions for the study of the gravitational force before the *Principia* were published and known as the masterpiece of science of the seventeenth century.

## Resumo

**Palavras-chave:** Robert Hooke – Forças – Lei da Gravitação Universal – Lei de Hooke - Isaac Newton

Robert Hooke contribuiu decisivamente para o desenvolvimento da ciência do século XVII. Ele deixou-nos um legado em astronomia, mecânica, geologia, química e até meteorologia. Este autor foi esquecido durante várias décadas devido, em parte, ao relevo que Isaac Newton, seu par, adquiriu. A controvérsia entre estes dois cientistas, no que diz respeito à criação de uma teoria gravitação universal, tem sido motivo de vários estudos. Neste trabalho procurar-se-á revisitar o legado de Robert Hooke, tendo como foco os seus contributos no estudo da força da gravitação antes de os *Principia* serem publicados e conhecidos como a obra prima da ciência do século XVII.

## Índice de Figuras e Tabelas

### Figuras

Figura 1 - Representação de uma formiga por Robert Hooke.....	11
Figura 2 - Representação de flocos de neve por Robert Hooke.....	12
Figura 3 - Representação de parte da lua por Robert Hooke.....	18
Figura 4 - Diagrama de Robert Hooke pertencente ao texto original.....	21
Figura 5 - <i>The Coffee House</i> (2008), Rita Greer.....	23
Figura 6 - Plano de reconstrução para a área de Londres destruída pelo incêndio.....	24
Figura 7 - Ilustração de Robert Hooke para as experiências com molas.....	34
Figura 8 - Molas PASCO ME 8999 de 2,5 cm e de 5,5 cm.....	35
Figura 9 - Massas de laboratório de 50 gramas e de 100 gramas.....	35
Figura 10 - Suporte de ferro fixo e fita métrica.....	36
Figura 11 - Balança digital usada.....	36
Figura 12 - <i>Memorial at Gresham College</i> (2007), Rita Greer.....	49

### Tabelas

Tabela 1 - Resultados da experiência usando uma mola de 2,5 cm.....	37
Tabela 2 - Resultados da experiência usando uma mola de 5,5 cm.....	38

## Índice

Agradecimentos.....	iii
Abstract.....	iv
Resumo.....	v
Índice de figuras e tabelas.....	vi
Introdução.....	1
Capítulo 1: Contributos de Robert Hooke para a criação da Lei da Gravitação Universal: o estado da questão.....	3
Capítulo 2: <i>Micrographia or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies</i> : “the most ingenious book that ever I read”.....	11
Capítulo 3: <i>On the inflection of a direct motion into a curve by supervening Attractive principle</i> : um capítulo na História do Pêndulo.....	19
Capítulo 4: <i>An attempt to prove the motion of the Earth from Observations</i> : as “suposições” de Robert Hooke .....	23
Capítulo 5: <i>Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring - Explaining the Power of Springing Bodies</i> : em busca da “regra” da natureza.....	31
Capítulo 6: Lei de Hooke em manuais de ensino secundário e superior das últimas duas décadas.....	43
Capítulo 7: Robert Hooke e Isaac Newton: <i>la pomme de la discorde</i> .....	49
Conclusão.....	57
Bibliografia.....	59
Anexo.....	63

## Introdução

*You talk to kindergarteners or first grade kids, you find a class full of science enthusiasts. And they ask you deep questions! They ask: “What is a dream, why do we have toes, why is the moon round, what is the birthay of the world, why is the grass green?” These are profound, important questions! They just bubble right out of them. You talk to 12th graders and there’s none of that. They’ve become incurious. Something terrible has happened between kindergarten and 12th grade.*<sup>1</sup>

Para que serve, se “servir” for o verbo usado, a História e a Filosofia das Ciências? A citação apresentada acima leva-nos a refletir sobre esta questão. Aquilo que Carl Sagan nos diz é algo que muitos de nós podem reconhecer. Invoquemos a memória de aula de matemática, de nível básico, secundário ou mesmo superior, o professor ou a professora, apresenta-nos uma série de fórmulas que devemos decorar; as fórmulas vão-se acumulando e a certa altura vemos que metade da turma desiste. E assim sucessivamente, aula após aula. Porquê? Talvez o problema esteja na forma como as matérias nos são ensinadas, afastando-nos muitas vezes do mundo sensível – das coisas que conhecemos e experienciamos no nosso dia-a-dia – até parecer que apenas lidamos com questões abstratas que nada têm a ver com a nossa vida, com o nosso corpo, com o nosso habitat. Sugere-se aqui que a História e a Filosofia das Ciências, hoje, “servindo” para alguma coisa, pode *servir* para conectar a ciência com aquilo que reconhecemos como *realidade*.

As *Ciências* estudam precisamente a nossa realidade em diferentes escalas. Não deveria ser esta, portanto, a sensação criada em muitos de nós. Falta no nosso ensino, *contexto*. No que diz respeito ao ensino das Ciências, esse contexto pode ser dado através da integração da História e Filosofia das Ciências, que tornará mais clara a relação entre uma determinada fórmula e a realidade que experienciamos no nosso quotidiano – como nasceu? Porquê? Em que circunstâncias? O que se procurava explicar? Foi útil ou não para esse efeito? Será que a resposta que se procurava de início resultou em novas questões? Ou será que, inesperadamente, esse resultado veio dar resposta a um outro problema que se achava nada ter a ver com a questão inicial? E mais: será que aquilo que tomamos como certo hoje – *facto científico - é verdade?* Tal como considerava Descartes, a dúvida é fundamental para o conhecimento científico. A ciência é um *processo* – vivo, mutável – e esse processo deve ser mostrado, *ensinado*. O resultado é pobre sem o processo, e, muitas vezes, menos interessante.

Neste trabalho procura-se mostrar um pouco sobre o *processo* de um *resultado*. O resultado aqui é a Lei da Gravitação Universal, atribuída meramente a Isaac Newton; o processo serão os contributos de Robert Hooke para a formulação desta lei. No decorrer deste caminho, mostrar-se-á quem foi este senhor, Robert Hooke, cientista reabilitado pela História da Ciência apenas no séc. XIX e ainda pouco conhecido e divulgado no contexto português, e o seu relevo para o desenvolvimento da ciência da sua altura, cujo mérito se estende para além do tema central deste trabalho.

Para este efeito, far-se-á um percurso por quatro textos de Robert Hooke: *Micrographia: or some Physiological Descriptions of Minute Bodies* (1664); *On the inflection of a direct motion into a curve by supervening Attractive principle* (1666); *Attempt to prove the motion of the Earth from Observations* (1674) e *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing*

---

<sup>1</sup> Afirmação de Carl Sagan em entrevista. Disponível em: *Youtube*, “Carl Sagan - Something terrible has happened between kindergarten and 12th grade”, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=N08DX3maMh0>

*Bodies* (1678). Os capítulos serão apresentados por ordem cronológica, de modo a que possamos acompanhar a maturação do trabalho de Robert Hooke.

No primeiro capítulo, “Contributos de Robert Hooke para a criação da Lei da Gravitação Universal: o estado da questão”, faremos uma breve introdução a este cientista à qual se segue um percurso, também ele cronológico, por publicações que se debruçaram sobre o tópico deste trabalho ao longo dos séculos XX e XXI.

No segundo capítulo, “*Micrographia or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies*: “the most ingenious book that ever I read”, será apresentada a sua *Micrographia*, obra onde os conceitos de *congruência* e *incongruência*, conceitos que se ligam à teoria da gravitação de Hooke, são expostos pela primeira vez.

Seguiremos para o capítulo, “*On the inflection of a direct motion into a curve by supervening Attractive principle*: um capítulo na História do Pêndulo”, onde se mostrará o texto em que Hooke procura justificar a teoria de Copérnico comprovando as suas suposições através das suas experiências com pêndulos.

Depois disso, partiremos para o capítulo, “*An attempt to prove the motion of the Earth from Observations*: as “suposições” de Robert Hooke” onde será apresentado um pouco do contexto social e científico desta altura, sucedendo-se a exposição da *Attempt* onde Hooke apresenta as suas “suposições” que procuram já definir, ainda que em traços largos, uma teoria da gravitação.

A seguir, em “*Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring - Explaining the Power of Springing Bodies*: em busca da “regra” da natureza” analisaremos a obra *Of Spring*. Neste texto Hooke retoma os conceitos de *congruência* e *incongruência*, agora mais solidificados, e a par deles expõe a sua teoria vibratória da matéria. Esta teoria liga-se às suas experiências com molas que serão de seguida testadas de modo a verificarmos os resultados de Hooke. Será feita aqui uma comparação entre a Lei de Hooke que hoje conhecemos e aquilo que Robert Hooke de facto expôs. Para este efeito, serão apresentados alguns exemplos de como esta lei é hoje referida em manuais do ensino secundário e superior. Estes exemplos serão apresentados no capítulo seguinte, “Lei de Hooke em manuais de ensino secundário e superior das últimas duas décadas”.

Depois de apresentadas as obras de Hooke em que nos propusemos focar, seguiremos para o capítulo “Robert Hooke e Isaac Newton: *la pomme de la discorde*”. Aqui far-se-á uma reflexão sobre o que até aqui foi apresentado partindo para uma comparação com Newton. Aproveitaremos para refletir também sobre as questões de autoria em ciência e sobre a conseqüente relevância deste trabalho.

## Capítulo 1

### Contributos de Robert Hooke para a criação da Lei da Gravitação Universal

Robert Hooke, um nome sem retrato, é hoje lembrado por ter sido o primeiro a usar a palavra “célula”, ainda que não com o sentido que lhe foi dado no século XIX. É na sua *Micrographia* que esta palavra aparece pela primeira vez. Este livro expõe um conjunto de observações feitas ao microscópio marcando o princípio da microscopia. John Gribbin compara até o impacto da recepção deste livro à publicação de *Sidereus Nuncius* (1610) de Galileu.<sup>2</sup> O nome de Robert Hooke continua a ser mencionado em alguns livros de Biologia assim como ainda é recordado pela Lei de Hooke, que, como veremos adiante, nos é apresentada como a lei que se esconde por detrás do comportamento de corpos elásticos.

Natural da Ilha de Wright, Hooke recebeu desde cedo vários estímulos: esta ilha era fecunda para observações geológicas, contendo grande variedade de minerais e de diferentes estratos em contraste, assim como fósseis, permitindo a Hooke antecipar algumas das conclusões de John Hutton (1726-1797) em cerca de cem anos<sup>3</sup>. Este lugar era também um ponto de turismo desde o início do séc. XVII, sendo um porto de entrada e de saída de mercadorias do Novo Mundo. Ainda adolescente, Hooke interessou-se por instrumentos de medição que pudessem ser usados para fins astronómicos e náuticos, dos quais é exemplo o seu quadrante equatorial. A Ilha de Wright foi um berço rico, mas foi em Londres que Hooke construiu a sua carreira, passando aí a maior parte da sua vida.<sup>4</sup>

Os seus primeiros passos no mundo do trabalho, já em Londres, foram dados como aprendiz do pintor Sir Peter Lely. Na sua *Micrographia* pode, aliás, ser observado o seu talento para o desenho científico. Também se sabe que Hooke terá feito parte de um coro e que terá aprendido a tocar órgão. Podemos observar a sua relação com a música ultrapassar as barreiras da arte até à ciência com a sua teoria vibratória da matéria.<sup>5</sup> Foi depois de passar pela Westminster School, ainda que sem inscrição oficial, que Hooke entrou para o núcleo da ciência britânica como assistente de Robert Boyle (1627-1691)<sup>6</sup>. A chamada “Lei de Boyle-Mariotte” foi, aliás, concebida com o auxílio de Hooke, o que nos faz lembrar a frase de John Gribbin, “It is the luck of the draw, or historical accident, whose name gets remembered as the discoverer of a new phenomena.”<sup>7</sup>

A possibilidade de os corpos se movimentarem motivados por forças de atração e de repulsão foi levantada ao longo dos tempos por diversos pensadores tendo sido acompanhada por diferentes teorias ou crenças. Podemos encontrar os primórdios de um conceito de atração universal desde

---

<sup>2</sup> GRIBBIN, John (2003), *Science: A History*, Reino Unido: Penguin Books, p.154

<sup>3</sup> No capítulo 5 veremos as considerações de Ellen Drake (1996) acerca deste tópico.

<sup>4</sup> “The Boy from the Isle of Wright”, in JARDINE, Lisa (2004), *The curious life of Robert Hooke – The man who measured London*, Nova Iorque: Harper Perennial, pp. 21-56

<sup>5</sup> Ver: GOUK, Penelope (2006), “The role of acoustics and music theory in the scientific work of Robert Hooke” in *Annals of Science* vol. 37:5, pp. 573-605

<sup>6</sup> Elementos biográficos de Robert Hooke retirados de: JARDINE, Lisa (2004), *The curious life of Robert Hooke – The man who measured London*, Nova Iorque: Harper Perennial

<sup>7</sup> Cf. GRIBBIN, John, *op. cit.*, p. 19: “It is the luck of the draw, or historical accident, whose name gets remembered as the discover of a new phenomena. What is much more importante than human genius is the development of technology, and it is no surprise that the start of scientific revolution ‘coincides’ with the development of the telescope and the microscope.”

Antiguidade, com o filósofo Empédocles por exemplo, ou entre figuras mais próximas de Hooke, tais como William Gilbert (1544-1603)<sup>8</sup>, René Descartes (1596-1650) ou Francis Bacon (1561-1626).<sup>9</sup>

Uma história do conceito de “ação à distância” ou da ideia de que os corpos se movem através de “forças de atração e de repulsão” seria um longo caminho a percorrer, sendo por isso necessário focarmos em alguns atores históricos, neste caso serão eles Robert Hooke (1635–1703) e Isaac Newton (1643-1727). Neste trabalho veremos que, com Robert Hooke, tal como se refere num recente ensaio de Niccolò Guicciardi (2020) “On the invisibility and impact of Robert Hooke”<sup>10</sup>, podemos estar perante um exemplo de *Trading Zone*, sendo Hooke apresentado como um importante agente que ficou obscurecido durante muito tempo na História da Ciência.

Alexandre Koyré, M. Nauenberg, P.J Pugliese, Mary B. Hesse e Richard Westfall são alguns dos nomes que estudaram a história da gravitação, dando particular atenção à controvérsia entre Robert Hooke e Isaac Newton. Estas duas figuras viveram no mesmo período, participaram das mesmas relações e espaços, e, com posturas diferentes, debruçaram-se também sobre problemas semelhantes. Temos registo da rivalidade entre os dois desde a controvérsia com a teoria da luz e das cores até à morte de Robert Hooke. O que mais nos interessa aqui é a controvérsia em relação à Lei da Gravitação Universal.

Em 1687, Newton publica o seu famoso livro *Philosophiae naturalis principia mathematica*, onde é exposta a Lei da Gravitação Universal. Após a publicação deste livro, Hooke reclama a falta de menção do seu nome. Newton defende-se dizendo que Hooke apenas apresentara uma suposição em 1674 enquanto ele, Newton, apresentara a explicação matemática.<sup>11</sup> A resposta de Newton é polémica até hoje: em primeiro lugar porque a explicação matemática precisa de ser suportada por uma teoria, em segundo lugar porque Hooke terá chegado a uma parte da explicação matemática, o que torna a afirmação de Newton falsa. Richard Westfall é um dos autores que, ao analisar a correspondência entre Isaac Newton e Robert Hooke no período que decorre entre 1679-1680, conclui que Newton terá mudado de ideias ao ler uma carta escrita por Hooke, onde este apresenta a sua intuição relativamente à possibilidade de uma força de atração recíproca entre o Sol e os planetas que seria inversamente proporcional à distância entre os corpos.<sup>12</sup> Vejamos de seguida o que alguns autores concluíram na investigação deste tema.

Alexandre Koyré, em 1952, publicou um artigo na revista *Isis* intitulado *An Unpublished Letter of Robert Hooke to Isaac Newton*. Este artigo apresenta-nos uma polémica carta de Hooke a Newton escrita a 9 de dezembro de 1679. Esta carta estava integrada num conjunto de correspondências entre estes dois homens no decorrer do inverno de 1679 e 1680. Nesta carta Hooke apresenta a Newton algumas ideias sobre o conceito de gravitação que, de acordo com vários autores – desde Koyré ao biógrafo de Isaac Newton, Richard Westfall até a autores contemporâneos como Lisa Jardine, Francesco Sacco e Eugene Hecht – terão interferido nas ideias de Newton. Como nos diz Koyré no artigo de 1952, a carta terá sido descoberta por W. W. Rouse Ball na biblioteca do Trinity College em Cambridge tendo

---

<sup>8</sup>Gilbert, em particular, realiza um grande progresso na compreensão da atração magnética, veja-se: “The fact is that trite and familiar, that the loadstone attracts iron; in the same way, too, one loadstone attracts another.” in GILBERT, William (edição inglesa: 1991), *De Magnete*, trad. MOTTELAY, P.Fleury, EUA: Dover Publications, p.28

<sup>9</sup> Mary B. Hesse, em *Forces and Fields – The Concept of Action at Distance in the History of Physics*, dá-nos uma visão abrangente deste conceito de análise mais primitivas encontradas nos Pré-Socráticos, passando por autores como Aristóteles, Gilbert, Descartes, Galileu, Huygens, Kepler, Hooke, Newton, Leibniz, Kant, Faraday, Maxwell e Einstein.

<sup>10</sup> GUICCIARDINI, Niccolò (2020) “On the invisibility and impact of Robert Hooke’s theory of gravitation” in *De Gruyter*, vol. 3, pp. 266-282

<sup>11</sup> WESTFALL, Richard (2007), *The life of Isaac Newton*, Reino Unido: Cambridge University Press, cap. 7-8, pp. 133-190

<sup>12</sup> Ibid.

sido publicada no ensaio deste autor *Essay on Newton's Principia*.<sup>13</sup> O artigo de Koyré recorda-nos o início da controvérsia entre Newton e Hooke em relação a “descobertas” de Newton em ótica, seguindo-a até 1675/6 quando Hooke refere publicamente que grande parte do trabalho de Newton em ótica já estava na sua *Micrographia*<sup>14</sup>. Depois de dado este contexto, Koyré foca a polémica entre os dois autores em análise no momento da publicação dos *Principia*: Hooke reclama a falta de menção dos seus contributos e Newton não aceita a reivindicação de Hooke. A posição de Koyré neste assunto é a de que “Hooke certainly is perfectly right in insisting on his priority”<sup>15</sup>. Neste artigo Koyré faz uma boa introdução às controvérsias entre Newton e Hooke sendo o artigo devidamente documentado. Aqui o foco de Koyré são as cartas trocadas por Newton e Hooke e a *Attempt to prove the motion of the Earth from Observations* (1674).

Já em 1966, temos o artigo de Mary Hesse “Hooke's Vibration Theory and the Isochrony of Springs”<sup>16</sup>, publicado na revista *Isis*, que não é apenas uma introdução ao problema, mas é já uma análise do trabalho de Hooke no que diz respeito aos escritos da década de 1660 sobre a sua “Teoria vibratória da matéria”. Aqui percebemos que a figura de Hooke já saiu da sombra histórica e que já é conhecida pelo público, pelo menos académico, e passamos assim para uma fase de análise mais detalhada da sua obra. O foco já não é a controvérsia Hooke-Newton mas antes uma outra: Hooke-Huygens, relativamente ao desenvolvimento de uma mola que serve como controlador de relógio, sob o consequente uso de uma “álgebra filosófica” que seria uma ferramenta para a resolução de muitos problemas em mecânica e em física. Mary Hesse conclui que Hooke não terá usado a álgebra filosófica na construção dos relógios. A obra de Hooke à qual Mary Hesse dá destaque é o *Of Spring* na qual a autora destaca a teoria vibratória da matéria onde Hooke introduz os conceitos de *congruência* e *incongruência*. A autora remete para um outro problema importante: Hooke terá auxiliado Boyle a chegar à lei que tem o seu nome. Relativamente ao tópico deste trabalho, Mary Hesse tem a posição de que “Used for this purpose, the vibration theory may have encouraged him in his belief that a universal method of discovery was possible.”<sup>17</sup>

Pouco depois, em 1967, destaco o artigo de Richard Westfall, biógrafo de Newton, “Hooke and the Law of Universal Gravitation: A Reappraisal of a Reappraisal”<sup>18</sup> publicado no *The British Journal for the History of Science*. Este artigo relembra justamente os contributos que Hooke teve para a criação da Lei da Gravitação Universal antes da publicação dos *Principia* de Newton. Aqui é-nos apresentado mais uma vez o conflito entre Hooke e Newton, na mesma linha de Koyré. Considero aqui relevante o facto de ser um dos mais importantes historiadores de Newton a dar crédito aos contributos de Hooke. Westfall, aliás, relata mais detalhadamente a controvérsia entre estes dois autores na biografia que faz de Newton, *Never at Rest*<sup>19</sup>.

Em 1970 temos já um livro dedicado à análise do trabalho de Hooke, *Robert Hooke's Contributions to Mechanics*<sup>20</sup> de Centore. O foco são os contributos de Hooke para a mecânica. Após fazer uma breve apresentação à vida e ao contexto de Hooke, o autor foca o carácter experimental do

---

<sup>13</sup> KOYRÉ, Alexandre (1952), “An Unpublished Letter of Robert Hooke to Isaac Newton” in *Isis*, vol. 43:4, p. 312

<sup>14</sup> Cf. Id., *op. cit.*, p. 313

<sup>15</sup> Cf. Id., *op. cit.*, p. 319

<sup>16</sup> HESSE, Mary B. (1966), “Hooke's Vibration Theory and the Isochrony of Springs” in *Isis*, vol. 57:4, pp. 433-441

<sup>17</sup> HESSE, Mary B. (1962), *Forces and Fields – The concept of Action at Distance in the History of Physics*, EUA: Dover Publications, p. 441

<sup>18</sup> WESTFALL, Richard (1967), “Hooke and The Law of Universal Gravitation: A Reappraisal of a Reappraisal” in *The British Journal for the History of Science*, vol. 3:3, pp. 245 - 261

<sup>19</sup> WESTFALL, Richard (1979), *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*, Reino Unido: Cambridge University Press

<sup>20</sup> CENTORE, F.F. (1970), *Robert Hooke's Contributions to Mechanics*, Países Baixos: Martinus Nijhoff, The Hague

trabalho de Hooke e refere as influências de Bacon, Descartes e Boyle no seu trabalho. Os escritos de Hooke aqui destacados são a *Micrographia*, o *Of Spring*, e os *Posthumous Works*.

Alguns anos depois, em 1977, destaco um artigo de Albert E. Moyer denominado “Robert Hooke's Ambiguous Presentation of “Hooke's Law” publicado na revista *Isis* que analisa o percurso de apresentação da “Lei de Hooke”. Aqui o autor ressalta a importância do *Of Spring*, que, segundo ele, foi uma obra “written at the height of his scientific career”<sup>21</sup>, sendo esta obra relevante não apenas para explicar o fenómeno dos corpos elásticos, mas também para analisar o comportamento da matéria em estado líquido. O autor ressalta ainda o facto de Hooke ter dado uma explicação empírica e teórica dos fenómenos que analisa. No entanto, Moyer considera haver uma ambiguidade entre a Lei de Hooke para os gases e para os corpos elásticos (proporcionalidade inversa/proporcionalidade direta).

Em 1980, temos um artigo de Penelope Gouk que destaca um aspeto menos óbvio do trabalho de Hooke. Em “The role of acoustics and music theory in the scientific work of Robert Hooke” publicado na revista *Annals of Science*, a autora analisa o papel da analogia musical no trabalho de Hooke.<sup>22</sup>

Em 1989, temos mais um livro, *Robert Hooke – New studies*<sup>23</sup>, coordenado por Michael Hunter e Simon Schaffer, que reúne um conjunto de artigos sobre Robert Hooke: “Hooke’s instruments for astronomy and navigation” de J. A. Bennett; “Robert Hooke and practical optics: Technical support at a scientific Frontier” de A. D. C. Simpson; “Robert Hooke’s longitude timekeeper” de Michal Wriqth; “Rethoric and graphics in *Micrographia*” de John T. Harwood; “Robert Hooke the incongruous mechanist” de John Henry; “Robert Hooke and the Dynamics of motion in a curved path” por Patri J. Pugliese; “Geological controversy in the seventeenth century: “Hooke vs Wallis’ and its aftermath” de David R. Oldroyd; “Experience and experiment: Robert Hooke, illness and medicine” de Lucinda McCray Beier e “Who was Robert Hooke?” por Steven Shapin. Este livro reúne, portanto, artigos sobre os contributos de Hooke para diferentes áreas do conhecimento sendo um trabalho bastante completo e abrangente. Destes destaco o artigo de Pugliese<sup>24</sup> que começa recordando-nos o mito *ani mirabilli* de Newton, desconstruindo-o. O discurso de Pugliese está já de acordo com a “nova história”: Newton terá obtido informação da parte de Hooke que o influenciou na elaboração dos *Principia*. Pugliese acrescenta também informação pictórica sobre a evolução do pensamento de Hooke ao comparar os diagramas encontrados nos escritos de Hooke com aqueles que Newton apresentará em *Principia*. Steven Shapin<sup>25</sup>, por seu lado, coloca algumas questões pertinentes em relação ao contexto social deste autor: quem era Hooke? Qual a posição socioeconómica que ocupava no seu tempo? Como era o estatuto de um filósofo experimental? Quais os obstáculos para chegar a ele? Shapin marca assim uma nova abordagem a Hooke, procurando através da análise do papel social que Hooke ocupava, explicar os motivos do seu descrédito científico em detrimento de outros nomes, concluindo que a origem socioeconómica de Hooke o colocou desde cedo num papel de submissão em relação aos *English Gentlemen* da Royal Society. Nesta perspetiva, Hooke teria uma posição mais próxima à de “servo”, posição na qual seria mais difícil, e até mesmo desadequado, entrar em disputas com *Senhores* como Boyle ou Newton que ocupavam uma posição socioeconómica superior. O autor conclui ainda que o estatuto social de Hooke se aproximava mais de um “artesão” do que de um “gentleman”: “His sensibilities in such matters were

---

<sup>21</sup> MOYER, Albert E. (1977), “Robert Hooke's Ambiguous Presentation of “Hooke's Law” in *Isis*, vol. 68:2, p. 266

<sup>22</sup> GOUK, Penelope (2006), “The role of acoustics and music theory in the scientific work of Robert Hooke”, in *Annals of Science*, vol. 37:5, pp. 573-605

<sup>23</sup> HUNTER, Michael, SCHAFFER, Simon (1989), *Robert Hooke – New studies*, Reino Unido: Boydell Press

<sup>24</sup> “Robert Hooke and the Dynamics of motion in a curved path” in HUNTER, Michael, SCHAFFER, Simon (1989), *Robert Hooke – New studies*, Reino Unido: Boydell Press, pp. 181-205

<sup>25</sup> “Who was Robert Hooke?” in HUNTER, Michael, SCHAFFER, Simon (1989), *Robert Hooke – New studies*, Reino Unido: Boydell Press, pp. 253-285

informed not by the patterns of the Christian virtuoso but by those of the crafts”, motivo que resultaria em descrédito social e, por consequência, científico.

Em 1994, temos um outro artigo importante para o tópico deste trabalho: “Hooke, orbital motion, and Newton’s *Principia*” de Michael Nauenberg publicado no *American Journal of Physics*. O autor demonstra-nos, auxiliado pelos diagramas já antes apresentados por Pugliese, que Hooke tinha já antecipado a segunda lei do movimento de Newton antes da publicação dos *Principia*. Nauenberg diz-nos mesmo que “What Newton conveniently forgot in his lengthy diatribe to discredit Hooke, is that in their 1679/80 correspondence, Hooke had described correctly some of the principles of orbital motion that led Newton to the discovery of Kepler’s area law, and to a deeper understanding of orbital dynamics.”<sup>26</sup> O autor defende que a análise do diagrama permite concluir que Hooke tinha bons conhecimentos de matemática e diz-nos mesmo que o gráfico de Hooke tem exatamente a mesma construção geométrica apresentada por Newton na proposição I teorema I livro I dos *Principia*.

Em 1996, é publicado o livro, *Restless genius: Robert Hooke and his earthly thoughts*<sup>27</sup> por Ellen Tan Drake. Este livro foca-se nos contributos de Robert Hooke para a Geologia mostrando-nos o seu “sistema da terra”. Este sistema continha ideias que antecipam a geologia moderna. Aqui a controvérsia de Newton e Hooke é já conhecida, partindo a autora para controvérsias relacionadas com as suas ideias geológicas, fazendo uma comparação entre Hutton e Hooke.

A partir de 2000, vemos surgir publicações sobre Hooke com cariz de distribuição para o grande público e não apenas para circulação dentro do meio académico, como observamos nos primeiros artigos sobre o autor. Em 2003, é publicada a biografia de Hooke por Lisa Jardine *The Curious Life of Robert Hooke: The Man Who Measured London*<sup>28</sup>, biografia que aparecerá nas referências posteriores de livros ou artigos sobre Hooke. Temos também *London’s Leonardo - The Life and Work of Robert Hooke*<sup>29</sup>, livro coordenado por Jim Bennett, Michael Cooper, Michael Hunter e Lisa Jardine, constituído por quatro artigos sobre o autor: “Hooke’s Career”; “Hooke’s Instruments”; “Hooke the Natural Philosopher” e “Hooke the Man: His Diary and His Health”. Neste ano temos também o livro de John Gribbin *Science: A History*<sup>30</sup>. Este livro introduz já na sua linha histórica Robert Hooke e a importância que lhe é devida numa “breve história da ciência”.

Logo a seguir, em 2004 temos *England’s Leonardo: Robert Hooke and the Seventeenth-Century Scientific Revolution*<sup>31</sup> de Allan Chapman onde é feito um percurso pela vida e pelo trabalho de Hooke em diferentes áreas da ciência. Em 2006 temos um novo livro organizado por Michael Hunter e Michael Cooper, *Robert Hooke Tercentennial Studies*<sup>32</sup>, que reúne mais um conjunto de estudos de vários autores sobre diferentes aspetos da obra de Robert Hooke. Em 2009 temos mais um livro sobre Hooke, *The First Professional Scientist: Robert Hooke and the Royal Society of London*<sup>33</sup> por Robert D. Purrington. Podemos já observar que a vida e obra de Hooke estão a ser firmemente reabilitados com o surgimento contínuo de artigos sobre o autor.

---

<sup>26</sup> NAUENBERG, Michael (2005), “Hooke’s Memorandum on the development of orbital dynamics” in *History and Philosophy of Physics*, vol. 21:29:56, p. 332

<sup>27</sup> DRAKE, Ellen Tan (1996), *Restless Genius – Robert Hooke and His Earthly Thoughts*, Nova Iorque: Oxford University Press

<sup>28</sup> JARDINE, Lisa (2004), *The curious life of Robert Hooke – The man who measured London*, Nova Iorque: Harper Perennial

<sup>29</sup> BENNETT, Jim; COOPER, Michael; HUNTER, Michael; JARDINE, Lisa (2003), *London’s Leonardo - The Life and Work of Robert Hooke*, EUA: Oxford University Press

<sup>30</sup> GRIBBIN, John (2003), *Science: A History*, Reino Unido: Penguin Books,

<sup>31</sup> CHAPMAN, Allan (2005), *England’s Leonardo: Robert Hooke and the Seventeenth-Century Scientific Revolution*, Reino Unido: Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia

<sup>32</sup> HUNTER, Michael; COOPER, Michael (org. 2006), *Robert Hooke Tercentennial Studies*, Reino Unido: Routledge

<sup>33</sup> PURRINGTON, Robert D. (2009), *The First Professional Scientist Robert Hooke and the Royal Society of London*, Alemanha: Birkhäuser Verlag

Em 2012 destaca-se um outro artigo, “Give me a telescope and I shall move the earth: Hooke’s Attempt to prove the motion of the earth from observations”<sup>34</sup> de Frédérique Ait-Touati publicado na revista *Oxford History of Science*, cujo foco é a análise da *Attempt to prove the motion of the Earth*. Neste artigo, o autor argumenta a favor da vontade de Hooke renovar a astronomia através do método experimental. Em 2015 é publicado “Bears in Eden, or, this is not the garden you’re looking for: Margaret Cavendish, Robert Hooke and the limits of natural philosophy”<sup>35</sup> de Ian Lawson, publicado pela *British Society for the History of Science*. Do mesmo autor neste mesmo ano temos ainda, “Crafting the Microworld” em *Notes and Records*<sup>36</sup>. Ainda neste ano temos o artigo “The Incredible, Invisible World of Robert Hooke”<sup>37</sup>, publicado na revista *The Microscope*, da autoria de Brian Ford, conferencista de várias palestras sobre o trabalho de Hooke em microscopia. Em 2017 destaca-se mais um livro de divulgação científica *Out of the Shadow of a Giant: How Newton Stood on the Shoulders of Hooke and Halley*<sup>38</sup> de Mary e John Gribbin, que faz o exercício de contar a história de Robert Hooke e de Edmond Halley (1656-1742) sem dar foco a Isaac Newton. O propósito aqui é questionar se Newton foi de facto assim tão relevante em detrimento de outros cientistas da época, como os mencionados, ou se antes, apenas veio ofuscar o trabalho destes. Em 2018 temos uma tese de mestrado em filosofia da autoria de Cindy Hodoba Eric, *The Capture of the Spring*<sup>39</sup>, na Universidade de Sydney. A tese dá ênfase ao caráter filosófico do trabalho de Hooke sobretudo no que diz respeito aos conceitos de *congruência* e de *incongruência*.

Em 2019, temos mais um artigo de Nicolae Sfetcu que revisita a controvérsia entre Newton e Hooke, “Isaac Newton vs. Robert Hooke on the law of universal gravitation”<sup>40</sup>, publicado online na plataforma *MultiMedia Publishing*. Em 2020, temos outro artigo nesta linha “On the invisibility and impact of Robert Hooke’s theory of gravitation”<sup>41</sup>, por Niccolò Guicciardini publicado no *The Gruiter*. O autor retoma o conflito entre Hooke e Newton analisando o papel de Hooke a partir do conceito de Peter Galison *trading zone*, sendo apresentado o caso de Hooke no quadro da definição de Galison. 2020 é também um ano de publicação de um novo livro sobre Hooke: *Real, Mechanical, Experimental: Robert Hooke’s Natural Philosophy*<sup>42</sup> de Francesco G. Sacco que analisa de uma maneira abrangente as contribuições de Hooke para diferentes ramos da ciência. Este livro resulta de vários anos de pesquisa, incluindo, aliás, a análise de escritos de Hooke que até aqui não tinham sido referenciados. Neste mesmo ano, temos ainda o artigo de Eugene Hecht “The true story of Newtonian gravity”<sup>43</sup> publicado no *American Journal of Physics*, onde o autor defende que a gravidade foi estudada por vários autores, sendo o sistema apresentado nos *Principia* resultado do contributo de vários, entre estes, Robert Hooke.

---

<sup>34</sup> AÏT-TOUATI, Frédérique (2012), “Give Me a Telescope and I Shall Move the Earth”: Hooke’s Attempt to Prove the Motion of the Earth from Observations” in *History of Science*, vol. 50:1, pp. 75-91

<sup>35</sup> LAWSON, Ian (2015), “Bears in Eden, or, this is not the garden you’re looking for: Margaret Cavendish, Robert Hooke and the limits of natural philosophy”, in *British Society for the History of Science*, pp.583-605

<sup>36</sup> LAWSON, Ian (2006), “Crafting the microworld: How Robert Hooke constructed knowledge about small things” in *Notes and Records*

<sup>37</sup> FORD, Brian J. (2015), “The incredible, invisible world of Robert Hooke” in *The Microscope*, vol. 63:1, pp. 23–34

<sup>38</sup> GRIBBIN, John, GRIBBIN, Mary (2017), *Out of the Shadow of a Giant: How Newton Stood on the Shoulders of Hooke and Halley*, Reino Unido: William Collins

<sup>39</sup> ERIC, Cindy Hodoba, (2018), *The Capture of Spring - Hooke’s “Vibrative Pulse Communicated”*, Sydney: University of Sydney

<sup>40</sup> SFETCU, Nicolae (2019), “Isaac Newton vs. Robert Hooke on The Law of Universal Gravitation”, Milão: MultiMedia Publishing

<sup>41</sup> GUICCIARDINI, Niccolò (2020) “On the invisibility and impact of Robert Hooke’s theory of gravitation” in *De Gruyter*, vol. 3, pp. 266-282

<sup>42</sup> SACCO, Francesco G. (2020), *Real, Mechanical, Experimental: Robert Hooke’s Natural Philosophy*, Reino Unido: Springer

<sup>43</sup> HECHT, Eugene (2021) “The true story of Newtonian gravity” in *American Journal of Physics*, vol. 89, pp. 683- 692

Far-se-á agora uma pausa na literatura para mencionar o musical apresentado em setembro de 2020 pela Royal Society, *Fallen*<sup>44</sup>, que conta através de canções o conflito entre Newton e Hooke e dando destaque à história deste último. Com este musical temos um culminar da divulgação da vida e obra deste autor: ele passou da sombra histórica até à divulgação para grande público através da arte em cerca de 100 anos.

Em relação ao acesso do trabalho de Hooke em formato online contamos já várias páginas, nomeadamente *Robert Hooke – England’s Leonardo*<sup>45</sup>, que nos apresenta uma biografia resumida de Hooke assim como informações sobre os seus principais trabalhos. Temos também o *Hooke Folio Online*<sup>46</sup>, fundado em 2003, onde podemos aceder gratuitamente a transcrições e imagens de vários manuscritos de Hooke. No site da *Royal Society* há também uma página dedicada a Hooke<sup>47</sup>, assim como no site dedicado ao *Monument of the great fire of London*.<sup>48</sup> Encontra-se também disponível o site da *Robert Hooke Society* (2018-2021)<sup>49</sup>.

A *Robert Hooke Society*, com sede física na ilha de Wright, apresenta-se como tendo o objetivo de “To promote public awareness, understanding and appreciation of the life and achievements of this great man”. A sociedade terá sido fundada em 1976 por Trevor Clarke, Tricia Phipps e Graham Clarke tendo sido reformulada em 2005 e apelidada de *The Robert Hooke Society – Freshwater*. Este site também disponibiliza várias informações sobre a vida e obra de Hooke fazendo, inclusive, divulgação de eventos que se realizam todos os anos na sede, em Wright, cada um dedicado a um tópico do trabalho de Hooke. O último evento registado foi “The Robert Hooke Trail New Display” ocorrido a 15 de julho de 2021. Neste site podemos também aceder a um conjunto de retratos de Hooke da autoria de Rita Greer, artista que, dedicada à realização de retratos históricos, procurou reabilitar a imagem deste cientista que chegou até nós sem um retrato oficial. A *Robert Hooke Society* tem atualmente uma página de Facebook onde podemos observar a devoção dos seus colaboradores a este cientista que anualmente realiza um encontro em memória de Hooke a 3 de março, data do seu falecimento.<sup>50</sup>

Tendo em conta as fontes mencionadas, podemos perceber que o trabalho de Hooke tem sido cada vez mais divulgado e muitos artigos há que cuja análise o tempo e o tema deste trabalho não permitem.<sup>51</sup> Sabemos também que há ainda escritos de Robert Hooke por publicar. Francesco Sacco em

---

<sup>44</sup> Pode-se consultar a divulgação do evento em: *Royal Society*, “Fallen - A Robert Hooke Musical”, URL: <https://royalsociety.org/blog/2020/09/fallen-a-robert-hooke-musical/>

<sup>45</sup> *Robert Hooke England's Leonardo*, URL: <http://roberthooke.org.uk/>

<sup>46</sup> *Hooke Folio Online*, URL: <http://www.livesandletters.ac.uk/projects/hooke-folio-online>

<sup>47</sup> *Royal Society*, “Science in the making”, URL: <https://makingscience.royalsociety.org/s/rs/people/fst00009590>

<sup>48</sup> *The Monument Great Fire of London 1666*, “Introduction”, URL: <https://www.themonument.info/history/introduction.html>

<sup>49</sup> *Robert Hooke Society, Freshwater*, URL: <https://www.roberthooke.org/>

<sup>50</sup> *Facebook*, “Robert Hooke Society”, URL: <https://www.facebook.com/roberthookeiow>

<sup>51</sup> Como por exemplo: “Robert Hooke and Boyle's Air Pump” de H. D. Turner, “Robert Hooke's Work as Surveyor for the City of London in the Aftermath of the Great Fire” de M.A.R. Cooper, “Dr Robert Hooke and the origins of engineering science” de Allan Chapman, “Robert Hooke's Methodology of Science as Exemplified in His 'Discourse of Earthquakes'” de D. R. Oldroyd, “Drawings of fossils by Robert Hooke and Richard Waller” de S. Kusukawa, “Robert Hooke's Contributions to Hydrogeology” de David Deming, “The Uses of Antiquity - Robert Hooke, Physico-Mythology, Knowledge of the World of the Ancients and Knowledge of the Ancient World” de Stephen Gaukroger, “Robert Hooke's 'Universal Joint' and Its Application to Sundials and the Sundial-Clock” de Allan Mills, “The limits of collaboration: Robert Hooke, Christopher Wren and the designing of the monument to the great fire of London” de M. F. Walker, “Self-Scrutiny and the Study of Nature: Robert Hooke's Diary as Natural History” de Lotte Mulligan, “Robert Hooke on Memory, Association and Time Perception” de B.R. Singer, “Robert Hooke's Trinity College ‘Musick Scripts’, his music theory and the role of music in his cosmology” de J.C. Kassler e D.R. Oldroyd, “Pioneers in Optics: Robert Hooke” de Michael Davidson, *Meanest Foundations and Nobler Superstructures: Hooke, Newton, and the “Compounding of the Celestial Motions of the Planets”* de Ofer Gal

*Real, Mechanical, Experimental: Robert Hooke's Natural Philosophy* refere escritos de Hooke que ainda não tinham sido traduzidos do latim para o inglês e que ainda não tinham sido analisados deixando-nos a indicação de que ainda há vários manuscritos por desvendar. Conforme este o autor nos diz “a complete editon of Hooke’s works remains a desideratum.”<sup>52</sup> Assim *As forças que equilibram o universo: revisitando Robert Hooke*, espera ser mais um contributo na divulgação e análise da obra deste autor, agora no contexto português.

---

“Robert Hooke and the origins of artificial respiration” de Thomas F. Baskett, “Robert Hooke and Horology” de A.R Hall, “Robert Hooke, M.D., F.R.S., with Special Reference to His Work in Medicine and Biology” de Henry Robinson, “Report - Robert Hooke at Christ Church, Oxford” de A. Cook, “Robert Hooke and the Conservation of Energy” de Louise Diehl Patterson, “Robert Hooke and the Huttonian Theory” de Giorgio Ranalli, entre outros.

<sup>52</sup> SACCO, Francesco G. (2020), *Real, Mechanical, Experimental: Robert Hooke's Natural Philosophy*, Reino Unido: Springer, p. vii

## Capítulo 2

### ***Micrographia or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies: “the most ingenious book that ever I read”***

*Micrographia: or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies* (1664), “the most ingenious book that ever I read”<sup>53</sup>, segundo Samuel Pepys, inicia-se com uma espécie de ode iluminista à evolução dos instrumentos científicos e à possibilidade de melhorarmos os nossos sentidos com eles. Lentes – este é o material que Robert Hooke louva no prefácio da sua *Micrographia*. O melhoramento das lentes óticas permitiu-nos observar para além daquilo que os nossos sentidos apreendem, quer a nível celeste quer celular. Há no prefácio deste texto um tom literário, quase poético, que elogia uma época de “conhecimento mecânico” em que instrumentos e a experimentação ocupam lugar de destaque. Ao longo deste livro Robert Hooke apresenta-nos sessenta observações que procura descrever com o máximo detalhe, fazendo uso de metáforas quando necessário. Ao acompanhar as suas descrições com ilustrações detalhadas Hooke tenta mostrar-nos o que vê. Aqui podemos também apreciar o talento de Hooke para o desenho científico. Nesta viagem detalhada pelo mundo natural Robert Hooke escolhe, por exemplo, uma formiga para nos mostrar em detalhe:

This was a creature, more troubleform to be drawn, then any of the rest, for I could not, for a good while, think of a way to make it suffer its body to ly quiet in natural posture; but while it was alive, if its feet were setter’d in Wax or Glew, it would so twist and wind its body, that I could not any wayes get a good view of it; and if I killed it, it’s body was so little, that I did often spoile the shape of it, before I could throughly view it: for this is the nature of minute Bodies, that as soon, almost, as ever their life is destroy’d, their parts immediately shrivel, and lose their beauty;(...)<sup>54</sup>



Figura 1

Representação de uma formiga por Robert Hooke. In *Micrographia*. Ilustração disponível em: *Robert Hooke England's Leonardo*, “An Ant or Pismire”, URL: [http://roberthooke.org.uk/?page\\_id=139](http://roberthooke.org.uk/?page_id=139)

<sup>53</sup> GRIBBIN, John, GRIBBIN, Mary (2017), *Out of the Shadow of a Giant: How Newton Stood on the Shoulders of Hooke and Halley*, Reino Unido: William Collins, p. 46: “He (Samuel Pepys) received it on 20 January 1665, and the next evening ‘sat up til 2 a-clock in my chamber, reading of Mr. Hooke’s Microscopical Observations, the most ingenious book that ever I read in my life’.”

<sup>54</sup> HOOKE, Robert (1665), *Micrographia: Or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies*, Londres: Jo. Martyn e Ja. Allestry, tipógrafos da Royal Society, p. 203

Uma *lettering-stone*:

This Stone wich is brought from Kettering in Northampton-shire, and digg'd out of a Quarry, as I am inform'd, has a grain altogether admirable, nor I ever seen or heard of any other stone that has the like.<sup>55</sup>

E até mesmo flocos de neve:

Exposing a piece of black Cloth, or a black Hatt to the falling snow, I have often with great pleasure, observe'd such an Infinite variety of curiously figur'd snow, that it would be as impossible to draw the Figure and shape of every one of them, as to imitate exactly the curious and Geometrical Mechanism of Nature in any one.<sup>56</sup>

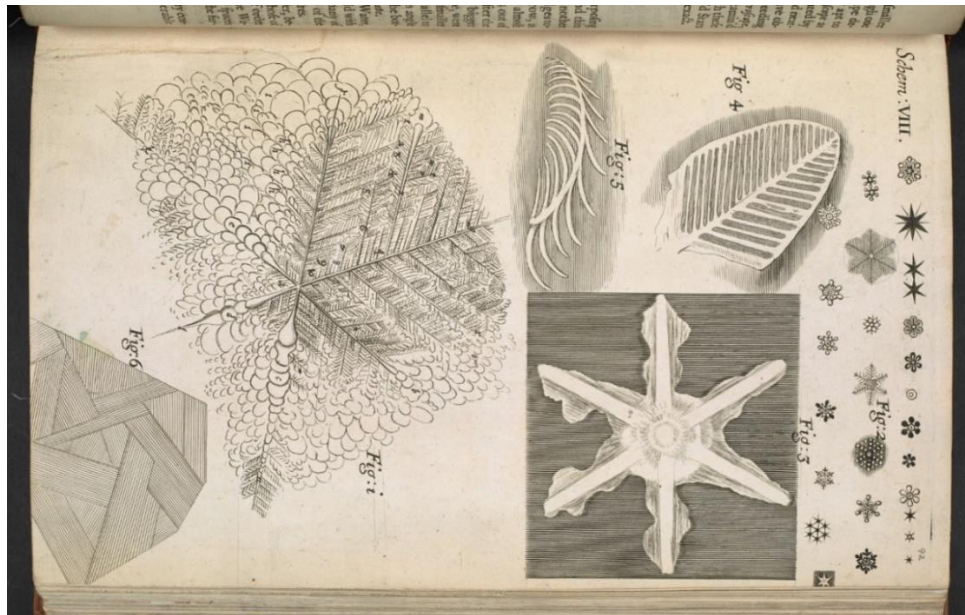


Figura 2

Representação de flocos de neve por Robert Hooke. In *Micrographia*. Ilustração disponível em: *Wellcome Collection*, “Engraving from *Micrographia*, 1665”, URL: <https://wellcomecollection.org/works/hfmyu332/items>

Alexander Wragge-Morley em *Aesthetic Science: Representing Nature in the Royal Society of London, 1650-1720*, destaca o facto de Robert Hooke ter desenhado um floco de neve como um hexágono com seis ramificações principais. O Professor J. Michael McBride na conferência intitulada, “London's Leonardo: Robert Hooke at the Dawn of Modern Science”<sup>57</sup>, destaca também este aspeto. Na sua pesquisa sobre cristais, Michael McBride debruçou-se sobre flocos de neve. Em 1611 Johannes Kepler (1571-1630) colocara a hipótese de os flocos de neve terem uma forma hexagonal<sup>58</sup>, mas ainda não temos aqui uma descrição detalhada cuja fonte seja a observação ao microscópio. Analisando os desenhos de flocos de neve de Hooke na sua *Micrographia*, Michael McBride, conclui que, ao contrário do que, por exemplo, Brian J. Ford<sup>59</sup> pensava relativamente a Hooke ter copiado os desenhos de Erasmos

<sup>55</sup> HOOKE, Robert (1665), *Micrographia: Or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies*, Londres: Jo. Martyn e Ja. Allestry, tipógrafos da Royal Society, p. 93

<sup>56</sup> Id., *op. cit.*, p. 91

<sup>57</sup> Conferência disponível em: *Youtube*, “London's Leonardo: Robert Hooke at the Dawn of Modern Science”, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=n9m4Bkyhvns>

<sup>58</sup> KEPLER, Johannes (edição inglesa: 2010), *The Six-Cornered Snowflake – A New Year's Gift* (1611), Filadélfia: Paul Dry Books

<sup>59</sup> FORD, Brian J (2014), “The Hidden Secrets of Snowflakes” in *The Microscope*, vol. 62:4, pp. 171–181

Bartolinus (1625-1698), o desenho de Robert Hooke é o primeiro na história que mais se aproxima da estrutura hoje conhecida de um floco de neve: os ramos são desenhados em paralelo, tal como observamos na natureza. O autor conclui que Hooke estava a “copiar a natureza” e não Bartolinus.

Com esta pequena apresentação podemos vislumbrar um pouco da riqueza que esta obra contém. Ao longo das suas páginas encontramos uma coleção de observações inéditas que contribuíram para os estudos de química, biologia ou geologia. É também neste livro que Hooke nos apresenta pela primeira vez dois conceitos que são centrais na sua obra e de grande importância para o tópico deste trabalho.

A ideia de que existem forças motrizes na natureza que servem de base para o funcionamento do universo não é nova na história. Robert Hooke estabeleceu dois conceitos fundamentais para a sua conceção do cosmos, as ideias de *congruência* e *incongruência*, que, do ponto de vista filosófico, se assemelham às ideias do filósofo Empédocles (c. 495-35 a.C.). Começemos por falar um pouco sobre as ideias de Empédocles que chegaram até nós.

No séc. V a.C., Empédocles ter-nos-á dado uma das primeiras analogias de atração e repulsão de que temos registo. O filósofo pré-socrático apresenta o amor e o ódio – a união e a separação – como forças motrizes da natureza, “And these things never cease their continual interchange, now through Love all coming together into one, now again each carried apart by the hatred of Strife.”<sup>60</sup> Amor e ódio eram para Empédocles as forças motrizes do ciclo da vida, encontrando-se em igual quantidade no cosmos. É-lhe atribuída ainda a ideia de que: “Strife is at odds with the roots, but Love is in harmony with them”.<sup>61</sup> No ódio as coisas repelem-se, afastando-se, com o amor atraem-se e acabam por se aproximar. É quando os quatro elementos estão ligados através da força do amor que se forma a “esfera harmónica”. O movimento da esfera ocorre à medida que a discórdia interfere com a força do amor. A alternância entre estes dois componentes tem propriedades atrativas, de acordo com a análise de Aristóteles.<sup>62</sup>

A teoria de Empédocles, aproxima-se, de um ponto de vista concetual, das ideias de *congruência* e de *incongruência* utilizadas por Robert Hooke para falar de fenómenos de atração e repulsão na natureza. A grande diferença está no facto de Hooke basear os seus conceitos em experiências e observações do mundo físico - passamos então da filosofia para a ciência. Domenico Bertoloni analisa ainda estas ideias dentro do panorama da Filosofia Renascentista, dizendo: “We see in Hooke how terms like «congruity» and «incongruity», which in the tradition of Renaissance philosophy might have suggested ideas of sympathy or antipathy, have been reinterpreted in strictly mechanical terms by means of analogies with simple objects such as springs and strings.”<sup>63</sup>

É então na sua *Micrographia* que Hooke expõe estes conceitos, *congruência* e de *incongruência*, tendo o autor encontrado um pressuposto teórico que viu funcionar, através de experiências, tanto a nível microscópico como macroscópico. Iniciando as suas observações com líquidos em tubos de vidro muito finos, logo na terceira observação da *Micrographia*, Hooke apresenta-nos os conceitos que, na sua perspectiva, teorizam o fenómeno que observa:

I am very apt to think, that the tenacity of bodies does not proceed from the hamou’s, or hooked particles, as the Epicureans, and some modern Philosophers have imagin’d; but from the

---

<sup>60</sup> KIRK, G.S, RAVEN, J.E, SCHOFIELD.M (2013), *The Presocratic Philosophers*, Reino Unido: Cambridge University Press, p. 287

<sup>61</sup> Ibid.

<sup>62</sup> Id., *op. cit.*, p.297

<sup>63</sup> MELI, Domenico Bertoloni (2006), *Thinking With Objects – The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century*, EUA: The Johns Hopkins University Press, p. 245

more exact congruity of the constituent parts, which are contiguous to each other, and so bulky, as not to be easily separated, or shatter'd, by any small pull or concussion of heat.<sup>64</sup>

As experiências feitas em relação ao que hoje denominamos “ação capilar” aparecem pela primeira vez na publicação *An Attempt for the Explication of the Phenomena Observable in an Experiment Published by the Honourable Robert Boyle* (1661). Com a construção da bomba de ar feita por Hooke e Boyle, conclui-se que pressão e volume são inversamente proporcionais. Esta descoberta ficou cunhada, na sua época, como “Lei de Boyle” apesar de ter sido um processo de trabalho entre Hooke e Boyle, tal como nos diz Centore, “There is evidence that Hooke had much more to do with Boyle’s Law than he is generally given credit for”.<sup>65</sup> Mas é na sua *Micrographia* (1665) que Hooke publica pela primeira vez em seu nome as suas experiências neste tópico. Conforme nos diz Centore, “On the one hand, he was interested in explaining only the case of liquids rising in fine tubes. On the other hand, he was interested in the broader question of the relationship between liquids and things with they may come in contact.”<sup>66</sup> Como podemos observar, é na sexta observação que Hooke nos apresenta as seguintes conclusões:

The first of which is, that an unequal pressure of the incumbent air, will cause an unequal height in the water’s surfaces. And the second is, that in this experiment there is such an unequal pressure. (...) Next, that there is such an unequal pressure, I shall prove from this, that there is a much greater incongruity of air to glass, and some other bodies, then there is of water to the same.<sup>67</sup>

Nesta experiência Hooke acaba por definir a *capilaridade*. As observações feitas por Hooke são aplicadas ainda hoje em Química para o estudo das propriedades dos líquidos e das relações intermoleculares.<sup>68</sup> Ele percebe através de experiências de líquidos em tubos muito finos que existe aquilo a que chamamos hoje “forças de adesão” e de “coesão”, que ele define em termos de *afinidade* usando os conceitos de *congruência* e *incongruência*. É também na sexta observação, após a análise do comportamento dos líquidos, que Hooke nos apresenta a sua definição dos conceitos mencionados:

By Congruity, I mean a property of a fluid body, whereby any part of it is readily united with any other part, either of it self, or of any other similar, fluid, or solid body; And by Incongruity a property of a fluid, by which it is hindred from uniting with any dissimilar, fluid or solid body.<sup>69</sup>

Hooke prossegue a sua análise tentando estabelecer qual a *causa* da congruência e da incongruência. Para este efeito o autor define em primeiro lugar a causa da *fluides* que ele entende como podemos ver a seguir, como um “certo pulso ou choque de calor”:

And that we may the better finde what the cause of Congruity and Incongruity in bodies is, it will be requisite to consider, first, what is the cause of fluidness; and this I conceive, to be nothing else but a certain pulse or shake of heat.<sup>70</sup>

---

<sup>64</sup> HOOKE, Robert (1664), *Micrographia: or some Physiological Descriptions of Minute Bodies*, Londres: Jo. Martyn e Ja. Allestry, tipógrafos da Royal Society, p. 6

<sup>65</sup> CENTORE, F.F (1970), *Robert Hooke’s Contributions to Mechanics*, Países Baixos: Martinus Nijhoff, The Hague, p. 58

<sup>66</sup> Id., *op. cit.*, p. 45

<sup>67</sup> HOOKE, Robert (1664), *Micrographia: or some Physiological Descriptions of Minute Bodies*, Londres: Jo. Martyn e Ja. Allestry, tipógrafos da Royal Society, p. 11

<sup>68</sup> Como podemos ver, por exemplo, em: REGER, Daniel, et al (edição portuguesa: 1997), *Química: Princípios e Aplicações*, trad. MATOS, António Pires de, et al, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, pp. 437- 449

<sup>69</sup> Id., *op. cit.*, p.12

<sup>70</sup> HOOKE, Robert (1664), *Micrographia: or some Physiological Descriptions of Minute Bodies*, Londres: Jo. Martyn e Ja. Allestry, tipógrafos da Royal Society, p. 12

O autor prossegue por esta ordem de ideias dizendo então o que define como *calor*, fundamentando a sua teoria com exemplos:

(...) for Heat being nothing else but a very *brisk* and *vehement agitation* of the parts of a body (as I have elsewhere made *probable*) the parts of a body are thereby made so *loose* from one another, that they easily *move any way*, and become *fluid*. That I may explain this a little by a gross Similitude, let us suppose a dish of sand set upon some body that is very much *agitated*, and shaken with some *quick* and *strong vibrating motion*, as on a *Milstone* turn'd round upon the under stone very violently whilst it is empty; or on a very stiff *Drum-head*, which is vehemently or very nimbly beaten with the *Drumsticks*. By this means, the sand in the dish, which before lay like a *dull* and unactive body, becomes a perfect *fluid*; and ye can no sooner make a *hole* in it with your finger, but it is immediately *filled up again*, and the upper surface of it level'd. Nor can you bury a *light body*, as a piece of Cork under it, but it presently *emerges* or *swims* as 'twere on the top; nor can you lay a heavier on the top of it, as a piece of Lead, but it is immediately *buried* in Sand, and (as 'twere) sinks to the bottom. (...) The first of these Examples manifests, how a body actually *divided* into small parts, becomes a *fluid* and the latter manifests by what means the agitation of heat so easily *loosens* and unties the parts of *solid* and *firm* bodies. Nor need we suppose heat to be anything else, besides such a motion; for supposing we could *Mechanically* produce such a one *quick* and *strong* enough, we need not spend *fuel to melt* a body. Now, that I do not speak this altogether groundless, I must refer the Reader to the Observations I have made upon the shining sparks of Steel, for there he shall find that *the same* effects are produced upon small chips or parcels of Steel by the flame, and by a *quick and violent motion*; and if the body of *steel* may thus melted (as I shew it may) I think we have little reason to doubt that almost *any other* may also.<sup>71</sup>

Quando Hooke define calor como “uma agitação muito rápida e veemente das partes de um corpo”, o autor está já a definir o calor como “movimento”, expondo as suas ideias a este respeito com exemplos. Podemos encontrar aqui uma antecipação de Benjamin Thompson (1753-1814) em *An Inquiry concerning the Source of Heat which is excited by friction*<sup>72</sup>. Aqui, Thompson expõe várias experiências das quais conclui que é possível gerar calor com fricção/movimento e que deste modo percebemos que calor está relacionado com movimento. Contudo, o autor não é ainda firme na sua teoria. Ele demonstra no seu texto ter uma noção prática sobre a maneira como se produz calor com fricção, contudo, a formulação teórica apresentada por Hooke é mais refinada e consistente. Veja-se as seguintes passagens do texto de Thompson:

If this were the case, then, according to the modern doctrines of latent heat, and of caloric, *the capacity for heat* of the parts of the metal, so reduced to chips, ought not only to be changed, but the change undergone by them should be sufficiently great to account for *all* heat produced. (...)

This experimente being repeated several times, the results were always so nearly the same, that I could not determine whether any, or what change, had been produced in the metal, *in regard to its capacity for heat*, by being reduced to chips by the borer.<sup>73</sup>

As afirmações de Hooke: “tudo tem calor” e “nada pode ser completamente frio”, lembra-nos ainda o trabalho que irá ser desenvolvido por Pierre Prévost em 1791. Vejamos a seguinte passagem:

---

<sup>71</sup> HOOKE, Robert (1664), *Micrographia: or some Physiological Descriptions of Minute Bodies*, Londres: Jo. Martyn e Ja. Allestry, tipógrafos da Royal Society, pp. 12-13

<sup>72</sup> THOMPSON, Benjamin (1789), “An Inquiry concerning the Source of Heat which is excited by friction” in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 88, pp. 80-105

<sup>73</sup> Id., *op. cit.*, pp. 81-82

(...) all bodies have some degrees of heat in them; and that there has not been yet found any thing perfectly cold: Nor can I believe indeed that there is any such thing in Nature, as a body whose particles are at rest, or lazy and unactive in the great Theatre of the Universe (...) <sup>74</sup>

É de notar que Hooke tenha atribuído como a força motora das partículas o *calor* que, no seu ponto de vista, nada mais é do que “movimento constante”:

(...) the agitation of heat so easily loosens and unites the parts of solid and firm bodies. (...) Nor need we suppose heat to be any thing else, besides such a motion; for supposing we could Mechanically produce such a one quick and strong enough, wo need not spend fuel to melt a body. <sup>75</sup>

Ainda sobre a congruência podemos observar que Hooke lhe atribui uma propriedade atrativa:

(...) what Congruity is, and this, as I said before, beign a Relative property of a fluid, whereby it may be said to be like or unlike to this or that other body, whereby it does or does not mix with this or that body. (...) the highest property of Congruity, which is Cohesion of the parts of the fluid together, or a kind of attraction and tenacy (...) <sup>76</sup>

Logo a seguir, encontramos o uso da metáfora musical para explicar estes fenómenos. Aqui, Hooke diz-nos que a *congruência* e a *incongruência* são manifestações da vibração das partículas, e que as que vibram em unísono são congruentes e que as que divergem nas suas frequências são incongruentes:

(...) I suppose the pulse of heat to agitate the small parcels of matter, and those that are a like bigness, and figure, and matter, will hold, or dance together, and those which are of a differing kind will be thrust or shov'd out from between them; for particles that are all similar, will, like so many equal musical strings equally strecht, vibrate together in a kind of Harmony or union; (...) whereas others that are dissimilar, upon what account soever, unless the disproportion be otherwise conter-balance'd, will, like so many strings out of tune to these unions, though they the same agitating pulase, yet make quite differing kinds of vibrations and repercussions, so that though they may be both mov'd, yet are their vibrations so different, and so untun'd, as 'twere to each other, that they cross and jar against each other, and consequently, cannot agree together, but fly back from each other to their similar particles. Now, to give you an instance how the disproportion of some bodies in one respect, may be counter-balance'd by a contrary disproportion of the same body in another respect whence we find that the subtil vinous spirit is congruous, or does readily mix with water, which in many properties of a very differing nature, we may consider that a union may be made either by two strings of the same bigness, length, and tension, or by two strings of the same bigness, but of a differing length, and a contrary differing tension; by two strings of unequal length and bigness, and of a differing tension, or of equal length, and differing bigness and tension, and several other such varieties. To which three properties in strings, will correspond three properties also in sand, or the particles of bodies, their Matter or Substance, their Figure or Shape, and their Body or Bulk. And from the varieties of these three, may arise infinite varieties in fluid bodies, though all agitated by the same pulse or vibrative motion. And there may be as many ways of making Harmonies and Discords with these, as there may be with musical strings. <sup>77</sup>

---

<sup>74</sup> HOOKE, Robert (1664), *Micrographia: or some Physiological Descriptions of Minute Bodies*, Londres: Jo. Martyn e Ja. Allestry, tipógrafos da Royal Society, p. 16

<sup>75</sup> Id., *op. cit.*, p. 13

<sup>76</sup> Id., *op. cit.*, p. 15

<sup>77</sup> Ibid.

De acordo com Penelope Gouk,<sup>78</sup> as metáforas musicais são recorrentes no trabalho de Hooke e acabam por assumir um papel importante no seu trabalho científico. Como nos diz a autora, “Hooke was in the habit of using musical analogy to elucidate his ideas about concepts less familiar to his audience.”<sup>79</sup> Penelope Gouk diz ainda que Hooke via harmonia em cada fenómeno da natureza. Sabemos que Hooke tocava órgão em Westminster,<sup>80</sup> talvez tenha vindo daí o seu interesse pela música ou pela analogia musical.

A passagem acima é relevante uma vez que faz a ponte com a hipótese colocada por Hooke de a força da gravidade ser causada por uma vibração constante. De acordo com a análise de Centore, Hooke terá, inicialmente, ponderado a hipótese de a gravidade ser causada por uma força magnética, mas terá percebido, após várias experiências, que a força da gravidade seria diferente da força magnética, tendo abandonado essa hipótese para assumir uma teoria vibratória da matéria.<sup>81</sup> O uso desta analogia permite-nos perceber que Hooke define esta “ação à distância” causada pela força da gravidade como uma causa física e não como uma força oculta, conforme sustenta Centore:

According to Hooke’s way of explaining gravity, there is no need to postulate any kind of animistic appetite. Such language may have a metaphorical meaning in colloquial speech but it can have no scientific meaning. Rather, the cause – the real, concrete, physical cause – is nothing more or less than a series of rapid vibrations starting in dense bodies and from thence being communicated to the ether. Moreover, because the universe contains numerous dense bodies (stars, planets, satellites) each similarly vibrating and because the ether extends throughout the whole universe, the phenomenon of gravitation is also universal.<sup>82</sup>

Podemos assim perceber que a existência de uma força da gravidade estava já solidamente integrada no pensamento de Hooke na época de publicação da *Micrographia*. Esta ideia está implícita nas suas conclusões relativamente ao comportamento dos fluídos em tubos de vidro, mostrando-nos que eles são influenciados pela força da gravidade, força esta que Hooke considera como “movimento natural”. Vejamos a seguinte passagem:

(...) if the including or included fluid have a greater gravity one than another, then will the globular Form be deprest into na Elliptico-spherical; As if (...) there were no gravity at all in either of the fluids, or that the contained and containing were of the same weight, would be equally comprest into an exactly spherical body (...) <sup>83</sup>

Próximos do final da *Micrographia*, podemos observar que Hooke considera a existência de uma força da gravidade não apenas em relação aos comportamentos da matéria em pequena escala, mas também à escala celeste. Comparando as observações que faz da lua com aquilo que observa na terra Hooke conclui: “(...) there is in the Moon a principle of gravitation, such as in the Earth”.<sup>84</sup> Para justificar a sua afirmação Hooke apresenta como principal argumento o facto de a lua ser esférica:

And to make this probable, I think, we need no better argument, then the roundness, or globular figure of the body of the Moon itself, which we may perceive very plainly by

---

<sup>78</sup> GOUK, Penelope (2006), “The role of acoustics and music theory in the scientific work of Robert Hooke” in *Annals of Science*, vol. 37:5, pp. 573-605

<sup>79</sup> Id., *op. cit.*, p. 575

<sup>80</sup> JARDINE, Lisa (2004), *The curious life of Robert Hooke – The man who measured London*, Nova Iorque: Harper Perennial, p. 65

<sup>81</sup> CENTORE, F.F (1970), *Robert Hooke’s Contributions to Mechanics*, Países Baixos: Martinus Nijhoff, The Hague, p. 98

<sup>82</sup> Id., *op. cit.*, p. 104

<sup>83</sup> HOOKE, Robert (1664), *Micrographia: or some Physiological Descriptions of Minute Bodies*, Londres: Jo. Martyn e Ja. Allestry, tipógrafos da Royal Society, p. 17

<sup>84</sup> Id., *op. cit.*, p. 245

Telescope, to be (bating the small inequacy of the Hills and Vales in it, which are all of them wise shap'd, or levelled, as it were, to answer to the center of the Moons body) perfectly of a Sphaerical figure, that is exceedingly probable also, that they are equidistant from the Center of gravitation(...)<sup>85</sup>

Passados 54 anos desde a publicação de Galileu Galilei (1564-1642), *Sidereus Nuncius*, que nos diz que “a lua tem montes e vales”<sup>86</sup> e que deste modo se assemelha à terra, colocando de parte toda a teoria Aristotélica, temos Hooke a afirmar que *o princípio da gravidade será o mesmo na lua e na terra*. Hooke aproxima-se ainda mais da natureza destes corpos procurando conhecer a força que os mantem em órbita. As observações feitas por Hooke no microscópio, assim como as descrições correspondentes, foram pioneiras na altura e ainda hoje são admiráveis. Como Lawson refere, “Before the middle of the seventeenth century, though, people rarely advertised their work as the product of an instrument, as Hooke did.”<sup>87</sup> A importância do instrumento, e do seu melhoramento no caso do microscópio usado por Hooke, é algo muito próprio desta época. O ser humano percebe aqui que pode confiar nos instrumentos para ampliar o seu conhecimento da natureza e Hooke usa-os com mestria. Mary e John Gribbin referem mesmo que este livro é um exemplo do método experimental legado por Bacon, sendo assim marco de uma nova forma de estudar os fenómenos da natureza.<sup>88</sup>

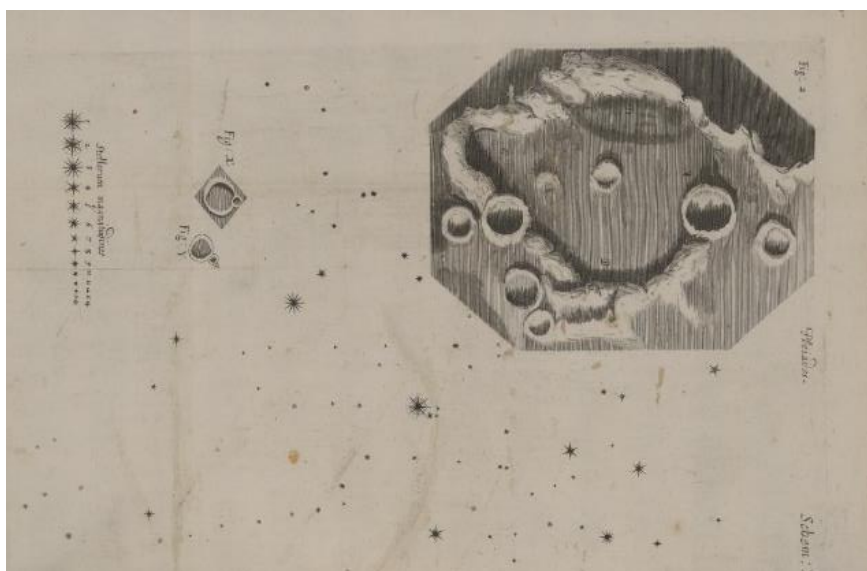


Figura 3

Representação de parte da lua por Robert Hooke. In *Micrographia*. Ilustração disponível em: *Wellcome Collection*, “Engraving from *Micrographia*, 1665”, URL: <https://wellcomecollection.org/works/aj7p6xb2>

<sup>85</sup> HOOKE, Robert (1664), *Micrographia: or some Physiological Descriptions of Minute Bodies*, Londres: Jo. Martyn e Ja. Allestry, tipógrafos da Royal Society, p. 245

<sup>86</sup> GALILEI, Galileu (edição portuguesa: 2015), *Sidereus Nuncius – O Mensageiro das Estrelas*, trad. LEITÃO, Henrique, Lisboa: Edições Fundação Calouste Gulbenkian, pp. 163-166

<sup>87</sup> LAWSON, Ian (2006), “Crafting the microworld: How Robert Hooke constructed knowledge about small things” in *Notes and Records*, doi: 10.1098/rsnr.2015.0057, p. 3

<sup>88</sup> GRIBBIN, John, GRIBBIN, Mary (2017), *Out of the Shadow of a Giant: How Newton Stood on the Shoulders of Hooke and Halley*, Reino Unido: William Collins, p. 44

### Capítulo 3

#### ***On the inflection of a direct motion into a curve by supervening Attractive principle: um capítulo na História do Pêndulo***

O pêndulo ocupa um lugar importante na História: é disso que trata o livro editado por Michael R. Matthews et. al, *The Pendulum: Scientific, Historical, Philosophical and Educational Perspectives*. No prefácio deste livro, o editor ressalta a importância dos estudos com pêndulos realizados no século XVII por nomes como Galileu, Huygens, Newton e Hooke, referindo que:

The pendulum was crucial for, among other things, establishing the collision laws, the conservation laws, the value of the acceleration due to gravity  $g$ , ascertaining the variation in  $g$  from equatorial to polar regions and hence discovering the oblate shape of the earth, and, perhaps most importantly, it provided the crucial evidence for Newton's synthesis of terrestrial and celestial mechanics.<sup>89</sup>

Newton é frequentemente mencionado devido às suas experiências com pêndulos. Matthews refere, aliás que “The pendulum was important for the Galileo's new science, and it had a central place in Newton's physics, with the historian Richard Westfall remarking that ‘without the pendulum, there would be no *Principia*’<sup>90</sup>. Ao longo do livro, são apresentadas várias análises sobre o lugar do pêndulo na cultura ocidental, sendo os nomes frequentemente citados: Newton e Galileu.

Michael Matthews refere, assertivamente, que “The work of Robert Hooke, a contemporary of Newton, should be included in this historical presentation”,<sup>91</sup> contudo, não há lugar para uma menção mais detalhada ao trabalho de Hooke com pêndulos para além do prefácio. Tentar-se-á neste capítulo colmatar essa lacuna.

Ellen Drake em *Restless Genius*, dá, por seu lado, atenção ao trabalho de Hooke com pêndulos. A autora escreve que “On March 21, 1666, Hooke lectured on gravity and discussed his attempts at measuring gravity with the pendulum. He also used a conical pendulum to describe the dynamics of orbital motion”<sup>92</sup>, referindo ainda que Hooke terá feito experiências com outros tipos de pêndulo de modo a encontrar a explicação para outros fenómenos, “He made and experimented with new types of pendulums, made a clock with a circular pendulum, constructed a sea bucket for sampling or “fetching things” from the bottom of the sea.”<sup>93</sup> Alan Chapman em “England's Leonardo” referencia também o texto de 1666 no seu capítulo, “From pendulums to planets: experiments and the understandig of gravity”<sup>94</sup>. O autor inclui as experiências de Hooke com pêndulos no conjunto de tentativas para explicar e medir a força da gravidade.

É esse o texto que aqui mostraremos, intitulado *On the inflection of a direct motion into a curve by supervening Attractive principle*. Este texto não foi ainda publicado. Aliás, olhando para o manuscrito

---

<sup>89</sup> MATTHEWS, Michael R.; GAULD, Colin F.; STINNER, Arthur (2005), *The Pendulum: Scientific, Historical, Philosophical and Educational Perspectives*, Holanda: Springer, p. 1

<sup>90</sup> Ibid.

<sup>91</sup> Id., *op. cit.*, p. 10

<sup>92</sup> DRAKE, Ellen Tan (1996), *Restless Genius – Robert Hooke and His Earthly Thoughts*, Nova Iorque: Oxford University Press, p. 32

<sup>93</sup> Id., *op. cit.*, p. 38

<sup>94</sup> CHAPMAN, Allan (2005), *England's Leonardo – Robert Hooke and the Seventeenth-Century Scientific Revolution*, Reino Unido: Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia, pp. 236-253

original ao qual tivemos acesso, podemos observar várias rasuras do autor, o que deixa entrever que o texto teria sido escrito para comunicação oral nas suas *lectures* e não para publicação.

Embora tenha apenas quatro páginas, este é um dos textos mais importantes de Hooke para a compreensão da sua mecânica celeste. O autor inicia o texto procurando uma explicação para o movimento dos planetas em torno do Sol, tomando como base a teoria de Nicolau Copérnico (1473-1543):

I have often wondered, why the Planets should move about the sun, according to Copernicus his supposition, being neither included in any solid orbs (which the Ancients possibly for this reason might embrace) nor tied to it, as their center, by any visible strings, and neither depart from it beyond such a degree, nor yet move in a strait line as all bodies that have but one single impulse ought to doe; for a solid body moved in a fluid towards any part (unless it be either protruded aside by some new impulse or be impeded in the motion by some other obviating body, or that the medium through which it is moved be suppos'd equally penetrable every way) must persevere in it's motion in a right line, and neither deflect this way, or that way from it.<sup>95</sup>

O autor começa então a elaborar a sua hipótese:

But all the coelestial bodies, being regular solid bodies, and mov'd in a fluid, or yet mov'd in circular or elliptical lines, or not strait, must have some other cause besides the first imprest impulse, that must have bend their motion into that curve.<sup>96</sup>

Partindo para definição de duas causas que podem justificar esta hipótese, a primeira é a seguinte:

And for the performance of this effect I cannot imagine any other likely cause besides these two, the first may be, from an unequal Density of the medium through which the Planetary body is to be moved, that is, if we suppose that part of the Medium which is farthest from the center or sun to be more dense, then that which is more neare, it will follow that the direct motion wil be always deflected inwards by the easier yeilding of the inward, and the greater resistance of the outward part of the medium; This hath some probability, attending it; as that, if the other be somewhat of the nature of the aire, 'tis rational that that part which is nearer the sun, the fontaine of heat, should be most rarified, or consequently that those which are most remote should be most Dense, but there are other improbabilities, which attend this supposition which being nothing to my present purpose, I shal omit.<sup>97</sup>

E a segunda:

But the second cause of inflecting a direct motion into a curve may be from an attractive property of the body placed in the center, whereby it continually endeavours to attract it or draw it to it selfe, for if such a principle be suppos'd, all the phaenomena of the Planets seem possible to be explain'd by the common principle of Mechaniche notions; and possibly the prosecuting this speculation may give us a true hypothesis of their motion and from some few observations their motions may be so far brought to a certainty, that we may be able to calculate them to the greatest exactnes or certainty that can be desired.<sup>98</sup>

De modo a exemplificar como a sua hipótese funcionaria, Hooke apresenta-nos uma experiência usando um pêndulo:

---

<sup>95</sup> HOOKE, Robert (1666), *On the inflection of a direct motion into a curve by supervening Attractive principle*, p. 1

<sup>96</sup> Ibid.

<sup>97</sup> Id., *op. cit.*, pp. 1-2

<sup>98</sup> Id., *op. cit.*, p. 2

This inflection of a direct motion into a curve by a supervening attractive principle, I shall endeavour to replicate from some experimets with a pendulous body; not that I suppose the attraction of the sun to be exactly according to the same degrees, as they are in a Pendulum, for in a circular Pendulum the degrees of Conatus at several distances from the perpendicular are in the same proportion with the sines of those arches of distance, as is evident by the Figure. Let AB represent a Pendulum hanging perpendicular, suspended at A, if it be mov'd out of it, as to C, or F, the Conatus of the body to descend in that point C to the conatus in F, shal be always as CD to FG; for 'tis a common principle of Mechanices, that the Conatus of a body descending in a inclinieing plaine to that of one descending perpendicular is in reciprocal proportion to the length of those plaines included between two horizontal parallel lines, as if there be a body at C, and another at D, the one descending by CE, the other by DE, the Conatus in CE to that in DE shal be as DE to CE, that is, as CA to CD. The same may be also prov'd of a ball at F or G, that the Conatus of the body to descend in GH, to that descending in FH shall be as FH to GH, that is, as (AF) to FG; therefore the Conatus in C, to that in F, shal be as CD, to FG, and consequently the Conatus of returning to the center in a Pendulum, is greater, or greater, according as it is further, or further remov'd form the center; which seems to be otherwise in the attraction of te sun, as I may afterwards further explain. But, however it be, the compounding this motion with a direct or strait motion just crossing it, may serve to replicate this Hypothesis, though all the appearances of it are not exactly the same, as for instance [here].<sup>99</sup>

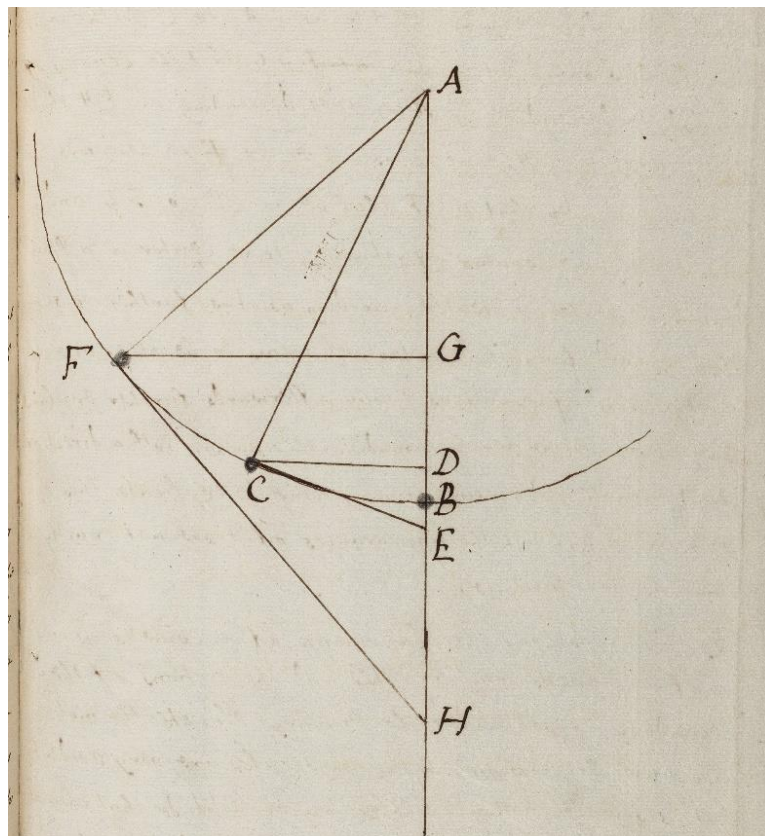


Figura 4

Diagrama de Robert Hooke pertencente ao texto original. Cedido pela Biblioteca da Royal Society (RB/1/20/34)

<sup>99</sup> HOOKE, Robert (1666), *On the inflection of a direct motion into a curve by supervening Attractive principle*, pp. 2-4

O diagrama de Hooke, pertencente ao artigo original, assim como o texto que o acompanha, evidenciam que o autor já estava, desde cedo, a tentar explicar a força da gravitação, neste caso usando pêndulos, ferramenta também utilizada por Newton nos *Principia*. Este seria, aliás, motivo para um estudo mais aprofundado sobre aquilo que Newton e Hooke procuravam nas suas experiências com pêndulos.

Considerou-se importante apresentar aqui o texto de Robert Hooke integralmente devido à importância de todas as partes, o texto em si não nos deixa dúvidas em relação à evolução do pensamento de Robert Hooke na compreensão da força da gravidade. Como podemos observar, em 1666 Hooke tinha chegado a conclusões que Newton apenas apresentará ao público em 1687. Tal como Ellen Drake refere: “This concept of centripetal force, necessary to the universal law of gravitation and later (in 1679) communicated to Newton, allowed the latter to think correctly about gravitation. Up to that moment, Newton wrote only in terms of the exact opposite effect, that of the vis centrifuga (centrifugal force).”<sup>100</sup> Tendo em conta a carta de Hooke a Newton escrita entre 1679/80, que Ellen Drake também não se esquece de referir:

But my supposition is that the Attraction always is in a duplicate proportion to the Distance from the Center Reciprocall, and Consequently that the Velocity will be in a subduplicate proportion to the Attraction and Consequently as Kepler Supposes Reciprocall to the Distance. And that with Such an attraction the auges will unite in the same part of the Circle and that the nearest point of accesse to the center will be opposite to the furthest Distant.<sup>101</sup>

Estes contributos de Hooke, são já uma tentativa de criação de uma Lei da Gravitação Universal. Mas não ficaremos por aqui, veremos nos capítulos que seguem a evolução do seu pensamento a este respeito em *An attempt to prove the motion of the Earth from Observations* e em *Of Spring*.

---

<sup>100</sup> DRAKE, Ellen Tan (1996), *Restless Genius – Robert Hooke and His Earthly Thoughts*, Nova Iorque: Oxford University Press, p. 32

<sup>101</sup> TURNBULL, H.W. (1960), *The correspondence of Isaac Newton V.II 1676-1687*, Cambridge: Royal Society University Press, p. 309

## Capítulo 4

### *An attempt to prove the motion of the Earth from Observations: as “suposições” de Robert Hooke*

A primeira *Coffee House* de que temos registo em Inglaterra terá aparecido em 1650<sup>102</sup>, no local onde hoje se encontra o *The Grand Café* em High Street. De acordo com John e Mary Gribbin, por volta de 1651 já haveria mais de oitenta *Coffee Houses* em Londres.<sup>103</sup> Jürgen Habermas em *The Structural Transformation of the Public Sphere*, diz-nos que a “esfera pública” é uma das principais marcas da modernidade. Ele apresenta também o surgimento das *coffee houses* como uma das ferramentas que possibilitou encontros e debates públicos.<sup>104</sup> É conhecido que Robert Hooke teria um vício por café<sup>105</sup> e aproveitou, juntamente com outros *fellows* da Royal Society, o aparecimento destes lugares. Segundo Ellen Drake, Hooke refere no seu diário pelo menos 150 tabernas e *coffee houses* frequentadas por ele e por seus amigos<sup>106</sup>. Como bem observam Mary and John Gribbin sobre este novo espaço de debate: “(...) this was an important event for science, as well as society at large, because coffee houses became the preferred meeting places of natural philosophers such as Hooke, Halley and their friend Christopher Wren.”<sup>107</sup>



Figura 5

*The Coffee House* (2008), Rita Greer. Imagem isponível em: *Wikimedia Commons*,  
URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:10\\_The\\_Coffee\\_House.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:10_The_Coffee_House.JPG)

<sup>102</sup> Há divergências em relação à data exata, variando, em diferentes fontes, entre 1650, 1651 e 1652.

<sup>103</sup> GRIBBIN, John, GRIBBIN, Mary (2017), *Out of the Shadow of a Giant: How Newton Stood on the Shoulders of Hooke and Halley*, Reino Unido: William Collins, p. 11

<sup>104</sup> HABERMAS, JURGEN (1991), *The Structural Transformation of the Public Sphere*, EUA: MIT Press

<sup>105</sup> GRIBBIN, John, GRIBBIN, Mary, *op. cit.*, p. 11

<sup>106</sup> DRAKE, Ellen Tan (1996), *Restless Genius – Robert Hooke and His Earthly Thoughts*, Nova Iorque: Oxford University Press, p. 5

<sup>107</sup> GRIBBIN, John, GRIBBIN, Mary, *op. cit.*, p. 11

Na *Royal Society* desta altura observamos já um círculo de debate em que há troca de conhecimentos entre os seus membros. Como observa Frédérique Aït-Touati: “Hooke clearly did not consider that the astronomical enterprise should be solitary and isolated. Rather, the observational site could be included in a grandiose public city design.”<sup>108</sup>

Um dos exemplos mais interessantes desta união entre o trabalho científico e a esfera pública é o “Monument of the Great Fire of London” (1666) planeado por Robert Hooke. Este monumento foi criado com um duplo objetivo: para além de ser um edifício comemorativo integrado no espaço público, este monumento serviria também como um telescópio zenital. Hooke trabalhou com Christopher Wren (1632-1723) na reconstrução de Londres depois do grande incêndio que devastou a cidade durante três dias. Este monumento em particular foi planeado por Hooke, que já na altura achava que o telescópio zenital seria útil para tentar observar a paralaxe de uma estrela fixa. Robert Hooke foi também responsável pela reconstrução da catedral de *St. Paul*, assim como terá feito o planeamento de muitas outras igrejas da cidade. Ao longo deste período de reconstrução de Londres, Hooke revelou o seu talento como arquiteto, assim como demonstrou uma grande capacidade de planeamento e agilidade na tomada de decisões.<sup>109</sup>

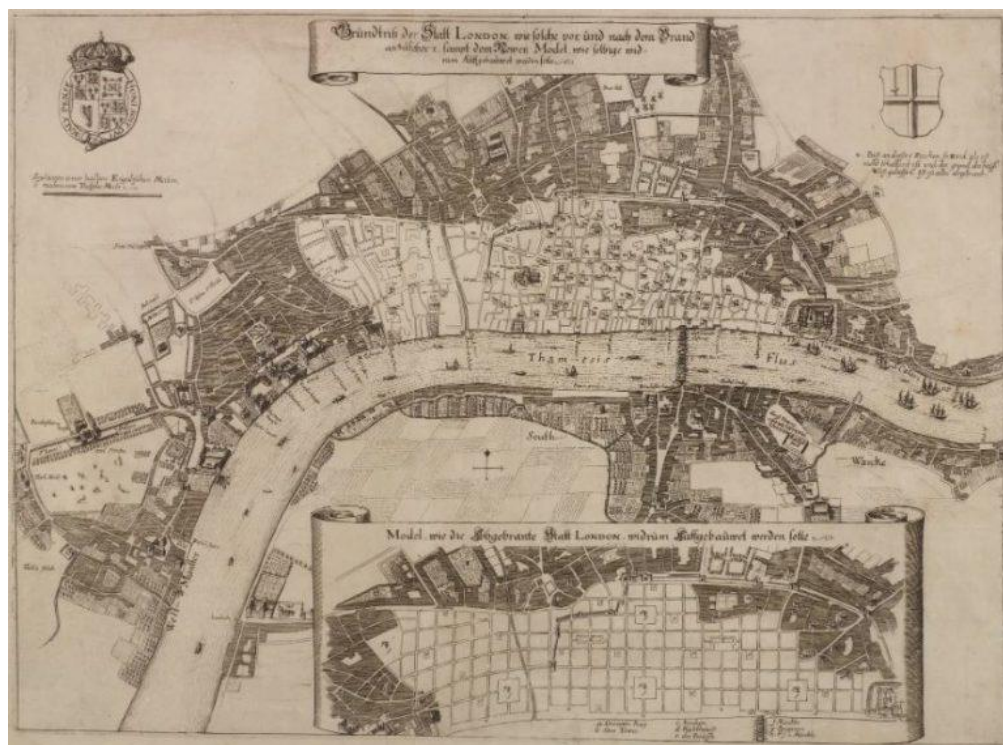


Figura 6

Plano de reconstrução para a área de Londres destruída pelo incêndio por Robert Hooke. O documento pertence ao London Metropolitan Archives. Pode ser consultado em: *Robert Hooke – England's Leonardo*, “Architecture”, URL: [http://roberthooke.org.uk/?page\\_id=166](http://roberthooke.org.uk/?page_id=166)

<sup>108</sup> AÏT-TOUATI, Frédérique (2012), “Give Me a Telescope and I Shall Move the Earth”: Hooke's Attempt to Prove the Motion of the Earth from Observations” in *History of Science*, vol.: 50:1, p. 86

<sup>109</sup> JARDINE, Lisa (2004), *The curious life of Robert Hooke – The man who measured London*, Nova Iorque: Harper Perennial, pp. 131-176

Em 1674, Hooke estava já bem estabelecido na sociedade londrina sendo um nome de respeito e prestígio dentro da Royal Society. É neste ano que Hooke publica um texto intitulado *An attempt to prove the motion of the Earth from Observations*. O título é por si desafiador. É interessante olharmos para este texto tendo em retrospectiva a sua *Micrographia*: as lentes agora são voltadas para o céu, e Hooke procura explicar os movimentos dos astros.

No prefácio a esta *Attempt*, Hooke começa por agradecer a John Cutler pela sua promoção do “Publick Good” e pela fundação da *Physico-Mechanical Lecture*.<sup>110</sup> Já no prefácio da sua *Micrographia*, Hooke fez-lhe um agradecimento. John Cutler terá tido um importante papel no círculo intelectual ao qual Hooke pertencia, conforme nos diz Lisa Jardine:

The benefactor who provided the finance which made the project [o *Royal College of Physicians*] possible was Sir John Cutler, who had made a huge personal fortune from large-scale conveyancing and brokerage during the civil-war years, and who had already sponsored the Cutlerian lecture-ship which Hook held at Gresham College, concurrently with his Gresham professorship. He paid for an anatomy theatre modelled on that at Leiden University, named *Theatrum Cutlerianum* in his honour at its opening in 1679.<sup>111</sup>

As informações contidas nesta *Attempt* terão sido apresentadas pela primeira vez em 1665 nos encontros públicos realizados no *Gresham College* durante a *Physico-Mechanical Lecture*, possível graças a John Cutler.<sup>112</sup> De acordo com o que o autor nos diz, Hooke teria ficado de publicar o conteúdo das suas observações quando tivesse replicado as experiências. No entanto, este não terá conseguido replicá-las por motivos meteorológicos e de saúde. Hooke decidiu assim a fazer a sua publicação em 1674.<sup>113</sup>

Neste texto, Hooke faz um resumo de um dos debates mais importantes da ciência desta altura: o surgimento da hipótese Copernicana e a sua disputa com o modelo de Tycho Brahe. Como Hooke refere, era ainda prevalente o ensino dos sistemas tychoniano e ptolemaico. Tycho Brahe (1546-1601), famoso por ter perdido o seu nariz na juventude, terá observado uma nova estrela – *stella nova* – a 11 de novembro de 1572 na constelação Cassiopeia.<sup>114</sup> A partir desta observação, Tycho já tinha colocado de parte a teoria Aristotélica, uma vez que esta nova estrela fora a prova de que no mundo celeste havia mudança.<sup>115</sup> No entanto, Tycho Brahe não adotou o sistema de Copérnico, mas antes criou um sistema misto entre o geocentrismo de Ptolomeu e o heliocentrismo de Copérnico. Apesar de Hooke considerar a teoria de Brahe inválida, não nos devemos esquecer de que este cientista fundou o primeiro Observatório Astronómico na Europa – *Uraniborg* – em homenagem a Urania, musa da astronomia, observatório este que, como John North nos diz:

(...) was equipped with a full complement of instruments, not to mention a windmill and paper mill, a printing office, farms and fishponds, and the domestic staff needed for its support. This is to say nothing of the many talented scholar-astronomers Tycho gathered round him. (...) His buildings were carefully planned, plumbed for water, equipped with kitchens, a library, laboratory, and eight rooms for assistants. Around 1584 an adjacent additional observatory was built: *Stjernborg* (“Castle of the Stars”) had additional

---

<sup>110</sup> HOOKE, Robert (1674), *An attempt to prove the motion of the Earth from Observations*, Londres: J. Martyn, tipógrafo da Royal Society, p. 1

<sup>111</sup> JARDINE, Lisa (2004), *The curious life of Robert Hooke – The man who measured London*, Nova Iorque: Harper Perennial, pp. 168-169

<sup>112</sup> Id., *op. cit.*, “to the reader”, p. 1

<sup>113</sup> Id., *op. cit.*, “to the reader”, p. 4

<sup>114</sup> THOREN, Victor E. (1990), *The Lord of Uraniborg – a biography of Tycho Brahe*, EUA: Cambridge University Press, pp. 55-56

<sup>115</sup> NORTH, John (2008), *Cosmos*, EUA: The University of Chicago Press, pp. 321-323

instruments on secure foundations in subterranean rooms. (...) His instruments included Ptolomy's rulers, armillaries, sextants, octants, and azimuthal quadrants, some of wood and some of brass. He owned celestial globes, one of them a meter and a half across.<sup>116</sup>

Apesar da sua curta duração, este “campus de investigação” não deve deixar de ser valorizado, uma vez que, durante um pequeno período, o sistema de Tycho foi o que muitos adotaram ao invés da autoridade centenária de Cláudio Ptolomeu (c.90-168).

Hooke não considerava como válida a hipótese de Tycho Brahe, e mais à frente na sua *Attempt*, percebemos que Hooke seguia antes a hipótese de Copérnico:

(...) who can ever imagine that the uniformity and harmony of the celestial bodies and motions, should be an argument prevalent to persuade that the earth moves about the sun: Whereas that hypothesis which shews how to salve the appearances by the rest of the earth and the motion of the heavens, seems generally so plausible that none of these can resist it.<sup>117</sup>

No entanto, Hooke considera que a *harmonia* não seria suficiente como prova de que o sistema de Copérnico está correto. Argumentos não chegam, será preciso algo mais – a prova experimental.<sup>118</sup> Observamos em Hooke uma postura muito positiva em relação ao desenvolvimento da tecnologia: este chega a afirmar que assim que desenvolvermos maiores e melhores telescópios poderemos ter medições mais apuradas das distâncias entre os astros:

To me indeed the Universe seems to be vastly bigger then it's hitherto asserted by any Writer, when I consider the many differing magnitudes of the fixt Stars, and the continual increase of their number according as they are looked after with better and longer Telescopes. And could we certainly determine and measure their Diameters, and distinguish what part of their appearing magnitude were to be attributed to their bulk, and what to their brightness (...)<sup>119</sup>

Como sabemos hoje, Hooke tinha razão. Neste momento temos vários telescópios a captar imagens de astros que, na sua altura, pareciam estar a uma infinita distância do nosso olhar. Ainda agora, temos mais um Rover, o *Perseverance*, em Marte procurando sinais de vida microbiana<sup>120</sup>. É interessante pensar que muitos dos grandes cientistas, ou nesta altura “filósofos naturais”, são pessoas que têm um pensamento prospetivo e que muitas vezes é a este pensamento que se deve o desenvolvimento da ciência: é a crença de que poderemos sempre fazer mais e melhor – ver mais além – que movimenta a investigação científica. Mas voltemos a *An Attempt*.

A referência anterior a Tycho Brahe serve também para percebermos o *método* que Hooke pretende superar. Robert Hooke considera que os métodos usados por Tycho não eram práticos nem suficientemente apurados. Ele considera que o segredo está em usar as lentes – neste caso o novo telescópio zenital – ao mesmo tempo que se faz medições apuradas. Como nos diz Frédérique Aït-Touati:

Hooke placed it at the core of an observational procedure based on controlled and accurate instrumentation: the combination of telescopic sight and of extremely accurate measuring devices. Such a procedure would permit the shift from mere observation to experimentum —

---

<sup>116</sup> NORTH, John (2008), *Cosmos*, EUA: The University of Chicago Press, pp. 324-325

<sup>117</sup> HOOKE, Robert (1674), *An attempt to prove the motion of the Earth from Observations*, Londres: J.Martyn, tipógrafo da Royal Society, p. 3

<sup>118</sup> Id., *op. cit.*, pp. 3-4

<sup>119</sup> Id., *op. cit.*, p. 6

<sup>120</sup> Informação disponível em: <https://www.nasa.gov/perseverance/>

from experience to experiment — thus allowing for the first time the certain determination between the Tyconic and the Copernican hypotheses.<sup>121</sup>

Mais uma vez, vemos na *Attempt* a valorização do instrumento que marca uma nova era no conhecimento científico. Ambiciosamente, Hooke diz-nos mesmo que com o auxílio deste instrumento é possível provar qual a teoria certa entre a hipótese de Tycho e de Copérnico: “But rather to furnish the Learned with na experimentum crucis to determine between the Tychonick and Copernic Hypothesis.”<sup>122</sup>

Não havia ainda uma prova que pudesse demonstrar qual a teoria, entre Tycho e Copérnico, estava certa. Mas Hooke propõe uma prova, o *experimetum crucis*: usando o seu telescópio zenital, ele pretende medir a paralaxe de uma estrela fixa, provando assim que a terra se move. Hooke critica o facto de Kepler, Riccioli e Tycho terem baseado as suas conclusões a partir de observações feitas a olho nu: “(...) but since the naked eye cannot distinguish na Angle much smaller then a minute, and very few to a whole minute, all their charge and trouble in making and managing large insturments, and in calculating and deducing from them, was as to this use in vain.”<sup>123</sup> O autor afirma que resolveu o problema que estes filósofos da natureza enfrentaram – ele melhorou os seus sentidos com um instrumento, tal como o tinha feito na *Micrographia*: “(...) I resolved to assist my eyes with a very large and good Telescope, instead of the common sights, whereby I can with ease distinguish the parts of an object to seconds.”<sup>124</sup> Hooke enumera de seguida o que concluiu ao fim de algumas observações com o seu telescópio zenital:

This way then was to observe by the passing of some considerable Star near the Zenith of Gresham Colledge, whether it did not at one time of the year pass nearer to it, and at another further from it: for the Earth did move in an Orb about the Sun, and that this Orb had any sensible Parallax amongst the fixt Stars; this must necessarily happen; especially to those fixt Stars which were nearest the Pole of the Ecliptick.<sup>125</sup>

Hooke terá feito observações entre julho e outubro de 1669, tendo como foco a estrela fixa da constelação Dragão. Apesar do seu esforço, estas observações não foram suficientes para medir a paralaxe. Esta medição só foi possível em 1830.<sup>126</sup> No entanto, conforme nos diz Ellen Drake, “Although Hooke thought he detected parallax, what he probably unknowingly discovered was a phenomenon known as stellar aberration. Stellar aberration, which shows the finite velocity of light, also demonstrates the motion of the Earth”<sup>127</sup>

No final deste texto Hooke apresenta-nos ainda algumas considerações essenciais para o tópico deste trabalho, uma vez que apresentam um esboço para uma teoria da gravitação:

At which time also I shall explain a System of the World differing in many particulars from any yet known, answering in all things to the common Rules of Mechanical Motions: This depends upon three Suppositions. First, That all Celestial Bodies whatsoever, have an attraction or gravitating power towards their own Centers, whereby they attract not only their parts, and keep them from flying from them, as we may observe the Earth to do, but that they also attract all the other Celestial Bodies that are within the sphere of their activity; and

---

<sup>121</sup> AÏT-TOUATI, Frédérique (2012), “Give Me a Telescope and I Shall Move the Earth”: Hooke's Attempt to Prove the Motion of the Earth from Observations” in *History of Science*, vol.: 50:1, p. 79

<sup>122</sup> HOOKE, Robert (1674), *An attempt to prove the motion of the Earth from Observations*, Londres: J.Martyn, tipógrafo da Royal Society, p. 2

<sup>123</sup> Id., *op. cit.*, p. 9

<sup>124</sup> Id., *op. cit.*, p. 10

<sup>125</sup> Id., *op. cit.*, p. 11

<sup>126</sup> GRIBBIN, John, GRIBBIN, Mary (2017), *Out of the Shadow of a Giant: How Newton Stood on the Shoulders of Hooke and Halley*, Reino Unido: William Collins, p. 78

<sup>127</sup> DRAKE, Ellen Tan (1996), *Restless Genius – Robert Hooke and His Earthly Thoughts*, Nova Iorque: Oxford University Press, p. 42

consequently that not only the Sun and Moon have an influence upon the body and motion of the Earth, and the Earth upon them, but that also (...) by their attractive powers, have a considerable influence upon every one of their motions also. The second supposition is this, That all bodies whatsoever that are put into a direct and simple motion, will so continue to move forward in a streight line, til they are by some other effectual powers deflected and bent into a Motion, describing a Circle, Ellipsis, or some other compounded Curve Line. The third supposition is, That these attractive powers are so much the more powerfuk in operating, by how much the nearer the body wrought up on is to their own Centers.<sup>128</sup>

Richard Westfall, especialista em Newton e autor da sua biografia, é um dos primeiros historiadores a colocar em destaque o conflito entre Newton e Hooke, não só em relação à teoria da gravidade, mas também aos conflitos que ambos tiveram em relação à teoria da luz e das cores. É sabido, inclusive, que, depois de uma troca de cartas, Newton só publicaria a sua *Optica* após a morte de Hooke.<sup>129</sup> É também sabido que, apesar de Newton e Hooke divergirem em alguns pontos, grande parte das ideias de Newton em relação à luz e às cores foram retiradas do trabalho de Hooke, em particular as observações apresentadas na sua *Micrographia*, que Newton terá lido ainda na sua juventude.<sup>130</sup> Mas o desenvolvimento deste assunto daria uma outra tese.

O que Westfall propõe na sua biografia de Newton, no que diz respeito à teoria da gravidade, é que Newton terá retirado para si as ideias que Hooke publica em *An Attempt to prove the motion of the Earth*:

Hooke was referring to a remarkable paragraph that had concluded his Attempt to Prove the Motion of the Earth (1674; republished in 1679) in his *Lectiones Cutlerianae*. There he had mentioned a system of the world he intended to describe, a system embodying a concept not far removed from universal gravitation. Perhaps more important, he correctly defined, for the first time anyone had done so, the dynamic elements of orbital motion. Hooke said nothing about centrifugal force. Orbital motion results from the continual deflection of a body from its tangential path by a force toward some center. Newton's papers reveal no similar understanding of circular motion before this letter.<sup>131</sup>

No seu artigo de 1967, “Hooke and the Law of Universal Gravitation: A Reappraisal of a Reappraisal” Westfall diz-nos: “If the seventeenth century rejected Hooke's claim summarily, historians of science have not forgotten it, and a steady stream of articles continues the discussion.”<sup>132</sup> No entanto, Westfall considera que Hooke não estaria de facto a estabelecer uma teoria da gravitação *universal*, mas antes como existindo “várias gravidades” em diferentes corpos.

Já Niccolò Guicciardini (2020) analisa a passagem da *Attempt* acima citada concluindo: “Hooke merged two opposing scientific frameworks. The “mechanical philosophy”, most notably as expounded by Descartes, and the “magnetic philosophy”, proposed in England by John Dee, Francis Bacon, William Gilbert, Christopher Wren, among others.”<sup>133</sup> De acordo com a análise deste autor, mesmo que em 1674

---

<sup>128</sup> HOOKE, Robert (1674), *An attempt to prove the motion of the Earth from Observations*, Londres: J.Martyn, tipógrafo da Royal Society, pp. 27-28

<sup>129</sup> WESTFALL, Richard (2007), *The life of Isaac Newton*, Reino Unido: Cambridge University Press, p. 251

<sup>130</sup> GRIBBIN, John, GRIBBIN, Mary (2017), *Out of the Shadow of a Giant: How Newton Stood on the Shoulders of Hooke and Halley*, Reino Unido: William Collins, pp. 95-108

<sup>131</sup> WESTFALL, Richard, *op. cit.*, p. 149

<sup>132</sup> WESTFALL, Richard (1967), “Hooke and The Law of Universal Gravitation: A Reappraisal of a Reappraisal” in *The British Journal for the History of Science*, vol. 3:3, p. 245

<sup>133</sup> GUICCIARDINI, Niccolò (2020) “On the invisibility and impact of Robert Hooke's theory of gravitation” in *De Gruyter*, vol. 3, p.270

Hooke ainda não tivesse estabelecido o princípio da gravidade como universal, em 1678, na sua publicação sobre cometas, Hooke já estaria certo disso:

It seems that Hooke conceived of this “sphere of activity” as finite and that in 1678 he perhaps changed this mind on the universality of the attracting gravitational force: for in that year he gave to the press one of his Cutlerian lectures in which it was argued that comets are acted upon by the Sun’s “gravitating power” in a diferente way (one that in certain conditions might cause “protrusion” rather than attraction) compared to the planets.<sup>134</sup>

Para além disto, como analisa Guicciardini, Hooke termina as suas *suposições* dizendo: “Now what these several degrees are I have not yet experimentally verified; but there is a notion which if fully prosecuted as it ought to be, will mightily assist the Astronomer to reduce all the Celestial Motions to a certain rule (...)”<sup>135</sup> E mais à frente: “But this I durst promise the Undertaker, that he will find all the great Motions of the Word to be influenced by this Principle, and that the true and understanding thereof will be the true perfection of Astronomy.”<sup>136</sup>

Ou seja, Hooke fala-nos da possibilidade de reduzir os movimentos celestes “a uma regra” a “um princípio”, o que sugere que a força da gravidade seria universal.

Como Centore bem nos recorda, Giovanni Borelli (1608-1679) na sua *Theoricae Mediceorum Planetarum ex causis physicis deductae* (1666)<sup>137</sup>, terá proposto algo que se assemelhava à teoria de Hooke. No entanto, como bem observa o autor, a posição de Borelli sustenta ainda uma crença animista e antropomórfica, enquanto Hooke sustenta uma posição mecanicista:

Borelli’s third alternative was to suppose that the planets were maintained in their orbits by three forces acting simultaneously. First of all, each planet has a “natural appetit or instinct” to approach the sun in a straight line. We see here a touch of anthropomorphism: the planets have something akin to desire or will power. In contrast to the Italian, Hooke would have nothing to do with anthropomorphic explanations, even in part.<sup>138</sup>

Para além disso, Borelli considerava a existência de uma força cumulativa dos planetas em relação ao sol, assim como pensava haver um impulso exterior causado pelos movimentos dos planetas em torno do sol:

Secondly, he supposed that sunlight was corporeal and capable of exerting force on the planets so that, as the sun rotated, it would physically push the planets around. (...) “In the third place Borelli supposed an outward impulse, caused by the planet’s revolution around the sun, which tended to impel the body directly away from the sun.”<sup>139</sup>

Ou seja, enquanto Borelli pressupunha haver uma força de ação à distância que segue a tradição animista, Hooke não é antropomórfico nem animista: ele usa causas físicas para explicar o fenómeno da gravitação. Para além disso, tendo em conta a descrição que Hooke faz da lua na *Micrographia*, dizendo-

---

<sup>134</sup> GUICCIARDINI, Niccolò (2020) “On the invisibility and impact of Robert Hooke’s theory of gravitation” in *De Gruyter*, vol. 3, p. 270

<sup>135</sup> HOOKE, Robert (1674), *An attempt to prove the motion of the Earth from Observations*, Londres: J.Martyn, tipógrafo da Royal Society, p. 28

<sup>136</sup> Ibid.

<sup>137</sup> BORELLI, Alfonso Giovanni (1666), *Theoricae mediceorum planetarum ex causis physicis deductae*, Florença: Tipografia S.M.D

<sup>138</sup> CENTORE, F.F (1970), *Robert Hooke’s Contributions to Mechanics*, Netherlands: Martinus Nijhoff, The Hague, p. 93

<sup>139</sup> Ibid.

nos que o “princípio da gravidade será o mesmo na lua e na terra”, podemos concluir que Hooke já pensava na força da gravidade como universal.

Esta passagem acima citada, para além de enunciar a ideia de que existe uma força de atração universal entre os corpos, contém outra afirmação importantíssima:

The second supposition is this, That all bodies whatsoever that are put into a direct and simple motion, will so continue to move forward in a straight line, til they are by some other effectual powers deflected and bent into a Motion, describing a Circle, Ellipsis, or some other compounded Curve Line.

O que Hooke nos descreve aqui é a Lei da Inércia, lei esta que é atribuída a Newton, quando foi Kepler quem cunhou a palavra. Christiaan Huygens (1629-1695) em *De motu corporum ex percussione* (escrito por volta de 1650 e publicado em 1703), também define a lei logo no início do seu texto, “Hypothesis I: Any body already in motion will continue to move perpetually with the same speed and in a straight line unless it is impeded.”<sup>140</sup>

Também René Descartes (1596-1650) tinha desenvolvido uma teoria do movimento baseada nesta lei. Em *Principia philosophiae* (1644), Descartes define o movimento como mecânico dizendo-nos que se um objeto estiver em repouso só se moverá se for nele aplicada uma força externa, tendo tendência para se mover em linha reta. Vejamos as seguintes passagens:

A primeira lei da Natureza: cada coisa permanece no seu estado se nada o alterar; assim, aquilo que uma vez foi posto em movimento continuará sempre a mover-se.<sup>141</sup> (...) todos os corpos que se movem continuam a mover-se até que o seu movimento seja travado por outros corpos.<sup>142</sup> (...) A segunda lei da natureza: todo o corpo que se move tende a continuar o seu movimento em linha recta.<sup>143</sup>

Assim, podemos ter a percepção de que a Lei da Inércia era já assumida como válida para vários autores, antes de Newton a ter apresentado em *Principia*. É também inegável a importância das “suposições” apresentadas nesta *Attempt* para a criação de uma Lei da Gravitação Universal.

---

<sup>140</sup> HUYGENS, Christiaan (edição inglesa: 1977), “The motion of Colliding Bodies”, Trad. Richard J. Blackwell in *Isis*, vol. 68:4 USA: The University of Chicago Press on behalf of The History of Science Society, p. 574

<sup>141</sup> DESCARTES, René (edição portuguesa: 2016), *Princípios de Filosofia*, trad. GAMA, João, Coimbra: Edições 70, §37, p. 76

<sup>142</sup> Id., *op. cit.*, §38, p. 77

<sup>143</sup> Id., *op. cit.*, §39, p. 77

## Capítulo 5

### *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring - Explaining the Power of Springing Bodies: em busca da “regra” da natureza*

*Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies* (1678) é um livro pioneiro. Nele encontramos observações importantes sobre diferentes ramos da ciência. Na primeira parte deste texto, Hooke expõe as suas experiências com molas que deram origem à hoje denominada Lei de Hooke. Aqui o autor apresenta-nos aquilo a que ele chama de “regra da natureza” devidamente fundamentada com as experiências que fez, bem de acordo com o mote da Royal Society *Nullius in Verba*<sup>144</sup>. Depois disto, seguem-se várias “coleções”. É nesta secção que podemos encontrar informações sobre como construir uma “fonte de água”, assim como relatos relacionados com meteorologia e geologia. É também nesta parte de *Of Spring* que Hooke relata observações da natureza, tais como erupções vulcânicas e registos de espécies fossilizadas, como prova de que a terra mudou ao longo dos tempos na sua forma e composição e de que os “fósseis” são registos de espécies que viveram em outros tempos, concluindo o autor que “nada na natureza se encontra isento de mudança e corrupção”<sup>145</sup>. Vejamos a seguinte passagem:

Therein I made it probable that most Islands have been thrown up by some subterraneous Eruptions. Such is the Island of Ascension, the Molucas.

Secondly, that most part of the Surface of the Earth hath been since the Creation changed in its position and height in respect of the Sea, to wit, many parts which are now dry Land, and lie above the Sea, have been in former Ages covered with it; and that many parts, which are now covered with the Sea were in former times dry Land. Mountains have been sunk into Plains, and Plains have been raised into Mountains.

Of these by observations I have given instances, and shewd that divers parts of *England* have in former times been covered with the Sea, there being found at this day in the most Inland parts thereof suficiente evidences to prove it, to wit, Shels of divers sorts of Fishes, many of which yet remain of the animal substance, though others be found petrified and converted into stone. Some of these are found raised to the tops of the heighest Mountains, other sunk into the bottoms of the deepest Mines and Wells, nay, in the very bowels of the Mountains and Quarries of Stone. I have added also divers other instances to prove the same thing of other parts of *Europe*, and had manifested, not only that the lower and plainer parts thereof have been under de Sea, but that even the highest *Alpine* and *Pyrenean* Mountains have run the same fate. Many instances of the like nature I have also met with in Relations and observations made in the *East* as well as in the *West Indies*.<sup>146</sup>

As conclusões que Hooke aqui apresenta são pioneiras na história da Geologia. Elas são desenvolvidas em maior detalhe no seu *Discourse of Earthquakes*, publicado nos *Posthumous Works* em 1705. James Hutton, considerado o pai desta disciplina, só nos escreverá sobre estas questões cerca de 100 anos depois. Ellen Drake apelida mesmo Hooke de “true founder of the science of geology”<sup>147</sup>. A autora afirma mesmo que, “There is also evidence that James Hutton (1726-1797), who had some

---

<sup>144</sup> “«Take no one’s word for it». This was the motto that the Society adopted, and it remains so to this day.” In TINNISWOOD, Adrian (2019), *The Royal Society & The Invention of Modern Science*, Reino Unido: Head of Zeus, p.45

<sup>145</sup> HOOKE, Robert (1678), *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*, Londres: Jonh. Martyn, tipógrafo da Royal Society, p. 50

<sup>146</sup> Id., *op. cit.*, p. 49

<sup>147</sup> DRAKE, Ellen Tan (1996), *Restless Genius – Robert Hooke and His Earthly Thoughts*, Nova Iorque: Oxford University Press, p. viii

knowledge of Hooke's hypothesis of the terraqueous globe, incorporated much of what Hooke pronounced into his own theory, a theory that laid the foundation of modern geology."<sup>148</sup> No capítulo "Final Assessment"<sup>149</sup> do livro *Restless Genius*, a autora compara textos dos dois autores, concluindo que não só as suas ideias são similares, como também existem semelhanças textuais entre o trabalho dos dois autores. A autora ressalta também que é no *Discourse of Earthquakes* que Hooke apresenta já a força da gravidade como essencial para manter a terra um globo,<sup>150</sup> Sendo este texto datado entre cerca de 1668-1699, não podemos saber exatamente se a sua teoria precede ou antecede os *Principia*.

É também em *Of Spring* que Hooke define com maior detalhe os conceitos de *congruência* e de *incongruência* inicialmente expostos na sua *Micrographia*. A par da definição destes conceitos, vai-nos sendo apresentada a sua teoria vibratória da matéria, onde o autor define corpo, matéria e movimento. Domenico Bertoloni apelida esta visão do mundo de Hooke de "pan-elastic cosmology".<sup>151</sup> Observemos as definições que Hooke aqui nos dá para *congruência* e de *incongruência*:

By Congruity and Incongruity then I understand nothing else but an agreement or disagreement of Bodys as to ther Magnitudes and motions.

Those Bodies then I suppose congruous whose particles have the same Magnitude, and the same degree of Velocity, or else an harmonical proportion of Magnitude, and harmonical degree of Velocity. And those I suppose incongruous which have neither the same Magnitude, nor the same degree of Velocity, nor an harmonical proportion of Magnitude nor of Velocity.<sup>152</sup>

As definições apresentadas estão em concordância com aquelas que vimos na *Micrographia*, mas aqui é dada ênfase a duas noções: a harmonia e velocidade. Vemos que Hooke define os comportamentos congruentes e incongruentes dos corpos de acordo com a sua velocidade/movimento, ou seja, Hooke diz-nos que os corpos são congruentes ou incongruentes dependendo da harmonia do seu movimento. E para percebermos melhor isto, Hooke define a seguir o que entende por *corpo e movimento*:

By Body I mean somewhat receptive and communicative of motion or progression. Nor can I have any other Idea thereof, for neither Extension nor Quantity, hardness nor softness, fluidity nor fixedness, Rarefaction nor Densation are the proprieties of Body, but Motion or somewhat moved.

By Motion I understand nothing but a power or tendency progressive of Body according to several degrees of Velocity.<sup>153</sup>

O autor considera ainda que todo o universo sensível consiste essencialmente em corpo e movimento, estando estes dois elementos em constante relação:

I suppose then the sensible Universe to consist of body and motion. (...)

---

<sup>148</sup> DRAKE, Ellen Tan (1996), *Restless Genius – Robert Hooke and His Earthly Thoughts*, Nova Iorque: Oxford University Press, p. 3

<sup>149</sup> Id., *op. cit.*, pp. 113-128

<sup>150</sup> Cf. Id., *op. cit.*, p. 80: "at least nearest to that part which is attractive and the cause of gravitation, and the next lighter in the second place, and so on to the third, fourth, fifth and according to their several degrees of Gravity and Density...so Water would always have covered the Face of the Earth, and the lightest Liquor would always have been at the top, and the Air above that, and Ether above that...till disturbed by Earthquakes"

<sup>151</sup> MELI, Domenico Bertoloni (2006), *Thinking With Objects – The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century*, EUA: The Johns Hopkins University Press, p. 245

<sup>152</sup> HOOKE, Robert (1678), *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*, Londres: John Martyn, tipógrafo da Royal Society, p. 7

<sup>153</sup> Ibid.

These two do always counterballance each other in all the effects, appearances, and operations of Nature, and therefore it is not impossible but that they may be one and the same; for a little body with great motion is equivalent to a great body with little motion as to all its sensible effects in Nature.<sup>154</sup>

I do further suppose then that all things in the Universe that become the objects of our senses are compounded of these two (which we will for the present suppose distinct essences, though possibly they may be found hereafter to be only differing conceptions of one and the same essence) namely, Body and Motion. And that there is no one sensible Particle of matter but owes the greatest part of its sensible Extension to Motion whatever part thereof it owes to Body according to the common notion thereof: Which is that Body is somewhat that doth perfectly fill a determinate quantity of space or extension so as necessarily to exclude all other bodies from being comprehended within the same Dimensions.

I do therefore define a sensible Body to be a determinate Space or Extension defended from being penetrated by another, by a power from within.<sup>155</sup>

Dadas as definições de corpo e de movimento, Hooke apresenta-nos o movimento vibratório como fundamental na matéria:

The Particles therefore that compose all bodies I do suppose to owe the greatest part of their sensible or potential Extension to a Vibrative motion.

This Vibrative motion I do not suppose inherent or inseparable from the Particles of body, but comunicated by Impulses given from other bodies in the Universe.

This only I suppose, that the Magnitude or bulk of the body do the make it receptive of this or that peculiar motion that is comunicated, and not of any other. That is, every Particle of matter according to its determinate or presente Magnitude is receptive of this or that peculiar motion and no other, so the Magnitude and receptivity of motion seems the same thing.<sup>156</sup>

Estas definições são curiosas não só pelo interesse filosófico que contêm, mas sobretudo porque Hooke chegou a elas através de experiências. Vemos então aqui o nascimento de uma teoria verificável experimentalmente e matematicamente. De modo a que se torne mais perceptível, Hooke usa ainda a analogia musical para exemplificar a sua teoria:

To explain this by a similitude or exemple. Suppose a number of musical strings, as A B C D E, tuned to certain tones, and a like number of other things, as *a, b, c, d, e*, tuned to the same sounds respectively, A shall be receptive of the motion of *a*, but not of that of *b, c*, nor *d*; in the like manner B shall be receptive of the motion of *b*, but not of the motion of *a, c* or *d*. And so of the rest. This is that which I call *Congruity* and *Incongruity*.<sup>157</sup>

A sua ideia de uma natureza vibratória da matéria, cujas principais relações se manifestam por harmonia ou desarmonia, torna-se evidente quando observamos o comportamento de uma mola. Mais à frente no texto, Hooke define a sua “regra da natureza” (Lei de Hooke) acompanhada das experiências que a sustentam – as referidas experiências com molas. Adicionando diferentes pesos sobre uma mola

---

<sup>154</sup> Descartes também refere algo semelhante, veja-se: Cf. DESCARTES, René (edição portuguesa: 2016), *Princípios de Filosofia*, trad. GAMA, João, Coimbra: Edições 70, §36, pp. 75-76: “Por conseguinte, quando uma parte da matéria se move duas vezes mais depressa do que outra – sendo esta duas vezes maior do que a primeira –, devemos pensar que há tanto movimento na mais pequena como na maior, e que sempre que o movimento de uma parte diminui, o da outra aumenta proporcionalmente.”

<sup>155</sup> HOOKE, Robert (1678), *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*, Londres: John Martyn, tipógrafo da Royal Society, pp. 7-8

<sup>156</sup> Id., *op. cit.*, p. 8

<sup>157</sup> Id., *op. cit.*, pp. 8-9

suspensa num suporte, Hooke mede a distância a que a mola se distende dependendo dos diferentes pesos que adiciona:

Take then a quantity of even- drawn Wire, either Steel, Iron, or Brass, and coyl it on na even Cylinder into a Helix of what length or number of turns you please, then turn the ends of the Wire into Loops, by one of which suspended this coyl upon na nail, and by the other sustain the weight that you would have to extend it, and hanging on several Weights observe exactly to what length each of the weights do extend it beyond the length that its own weight dith stretch it to, and you shall find that if one ounce, or one pound, or one certain weight doth lengthen it one line, or one inch, or one certain length, then two ounces, two pounds, or two weights will extend it two lines, two inches, or two lengths; and three ounces, pounds, or weights, three lines, inches or lengths; and so forwards.<sup>158</sup>

Com o objetivo de compreender a filosofia experimental de Hooke, optámos por retomar a experiência apresentada pelo autor.

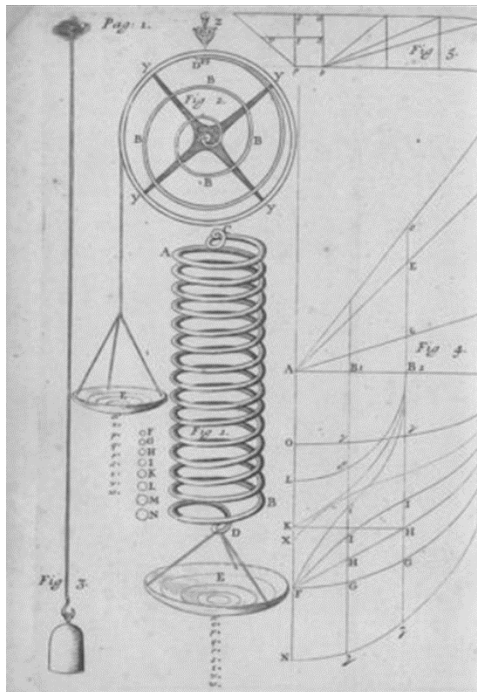


Figura 7

Ilustração de Robert Hooke que acompanha as suas experiências com molas. A figura pertence à versão de *Of Spring* da *Posner Memorial Collection* disponível em: *Carnegie Mellon University*, “Lectures de potentia restitutiva, or of spring, explaining the power of springing bodies”, URL: <https://digitalcollections.library.cmu.edu/node/68323>

Foram usadas duas molas PASCO ME 8999, uma de 2,5 cm e outra de 5,5 cm (Fig.8); massas de laboratório com os valores de 50 e 100 gramas (Fig.9), valores confirmados com uma balança digital (Fig. 11) que determina até às décimas de grama, e uma fita métrica sustida a um suporte de ferro fixo (Fig. 10).

<sup>158</sup> HOOKE, Robert (1678), *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*, Londres: John Martyn, tipógrafo da Royal Society, pp. 1-2

A mola de 2,5 cm foi inserida no suporte da figura 9, e, colocando-se as mãos em concha à volta desta, fez-se a mola estabilizar. De seguida adicionou-se cuidadosamente o primeiro corpo de 50 gramas. Colocando-se mais uma vez as mãos em concha em torno da mola, garantiu-se a sua estabilidade anotando-se a distância a que a mola se distendeu. A seguir, o procedimento foi repetido, sendo adicionado mais um corpo de 50 gramas, e, novamente, deixando a mola chegar a um ponto de estabilidade, foram anotados os valores. O procedimento foi repetido até às 250 gramas.

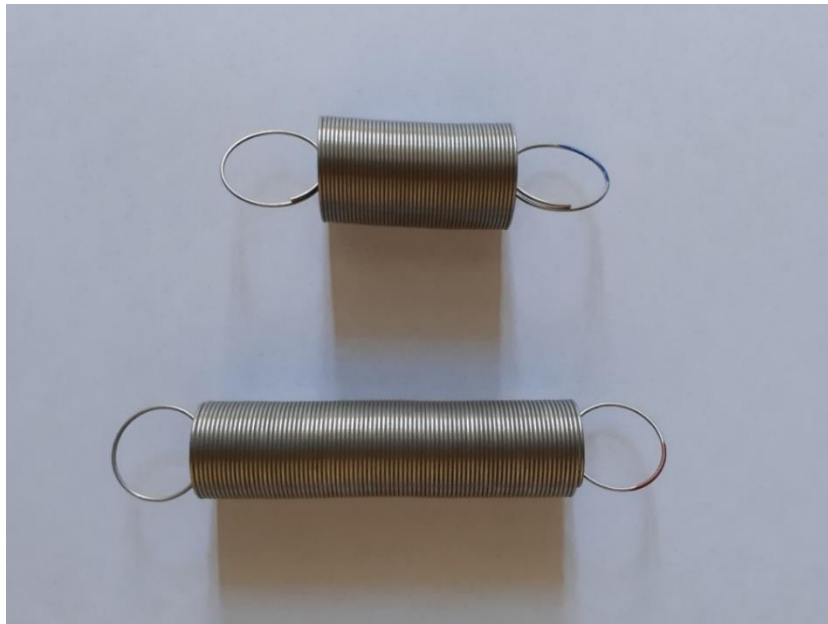


Figura 8

Molas PASCO ME 8999 de 2,5 cm e de 5,5 cm



Figura 9

Massas de laboratório de 50 e de 100 gramas acompanhadas do respetivo suporte de 50 gramas



Figura 10

Suporte de ferro fixo e fita métrica



Figura 11

Balança digital usada

De seguida, usando a constante gravítica atualmente conhecida de  $9,8\text{m/s}^2$  e passando os centímetros para metros e as gramas para quilogramas, obtemos os seguintes resultados:

<b>Massa (g)</b>	<b>Distância (cm)</b>	<b>Peso/Distância</b>
50	7,50	$\frac{0,49}{0,075} = 6,53$
100	15,00	$\frac{0,98}{0,15} = 6,53$
150	22,00	$\frac{1,47}{0,22} = 6,68$
200	29,50	$\frac{1,96}{0,295} = 6,64$
250	36,50	$\frac{2,45}{0,365} = 6,71$

Tabela 1

Resultados da experiência usando uma mola de 2,5 cm. (Hooke diz genericamente: 1 onça/libra: a mola estende-se por uma linha; 2 onças/libras: a mola estende-se por duas linhas; 3 onças/libras: a mola estende-se por três linhas).

Nesta primeira experiência, o valor médio é de 6,62 N/m, com desvio padrão 0,08 N/m.

Experimentámos ainda com uma mola de 5,5 cm de comprimento. Os resultados foram os seguintes:

Massa (gr)	Distância (cm)	Peso/Distância
50	7,00	$\frac{0,49}{0,07} = 7,00$
100	14,00	$\frac{0,98}{0,14} = 7,00$
150	21,30	$\frac{1,47}{0,213} = 6,90$
200	28,50	$\frac{1,96}{0,285} = 6,80$
250	36,00	$\frac{2,45}{0,36} = 6,80$

Tabela 2

Resultados da experiência usando uma mola de 5,5 cm. (Hooke diz genericamente: 1 onça/libra: a mola estende-se por uma linha; 2 onças/libras: a mola estende-se por duas linhas; 3 onças/libras: a mola estende-se por três linhas).

Nesta segunda experiência, o valor médio é de 6,90 N/m, com desvio padrão de 0,09 N/m.

A partir das nossas observações podemos concluir o mesmo que Hooke nos diz: “The Power of any Spring is in the same proportion with the Tension thereof: That is, if one power stretch or bend it one space, two will bend it two, and three will bend it three, and so forward.”<sup>159</sup> De facto, ao observarmos atentamente o comportamento de uma mola percebemos que parece impossível fazer cessar completamente o seu movimento. Um passo, um sopro, fá-la vibrar como se essa fosse a sua tendência natural. Hooke percebeu que o movimento é fundamental na natureza, em grande e pequena escala. E percebeu também, com a análise dos conceitos *congruência* e de *incongruência*, que há dois tipos de movimento essenciais entre os corpos: afastamento e aproximação, como já tínhamos visto na *Micrographia*. Daqui se retirou a chamada Lei de Hooke. Mas afinal, o que é a Lei de Hooke?

<sup>159</sup> HOOKE, Robert (1678), *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*, Londres: John Martyn, tipógrafo da Royal Society, p. 1

No início de *Of Spring* Hooke escreve: “That is, The Power of any Spring is in the same proportion with the Tension...” Logo depois diz-nos como nós próprios podemos testar esta regra usando “Steel, iron or Brass”. A conclusão é a apresentada acima, “que a força de qualquer mola é proporcional à sua tensão”, vejamos a passagem:

From all which i tis very evident that the Rule or Law of Nature in every springing body is, that the force or power thereof to restore it self to its natural position is always proportionate to the Distance or space it is removed therefrom, whether it be by rarefaction, or separation of its parts the one from the other, or by a Condensation, or crowding of those parts nearer together. Nor is it observable in these bodys only, but in all other springy bodies whatsoever, whether Metal, Wood, Stones, baked Earths, Hair, Horns, Silk Bones, Sinews, Glass, and the like. Respect being had to the particular figures of the bodies bended, and the advantageous or disadvantageous ways of bending them.<sup>160</sup>

Take then a quantity of even- drawn Wire, either Steel, Iron, or Brass, and coyl it on na even Cylinder into a Helix of what length or number of turns you please, then turn the ends of the Wire into Loops, by one of which suspended this coyl upon na nail, and by the other sustain the weight that you would have to extend it, and hanging on several Weghts observe exactly to what length each of the weights do extend it beyond the length that its own weight dith stretch it to, and you shall find that if one ounce, or one pound, or one certain weight doth lengthen it one line, or one inch, or one certain length, then two ounces, two pounds, or two weights will extend it two lines, two inches, or two lengths; and three ounces, pounds, or weights, three lines, inches or lengths; and so forwards. And this is the Rule or Law of Nature, upon which all manner of Restituent or Springing motion do proceed, whether it be of Rarefaction, or Extension, or Condensation and Compression.<sup>161</sup>

Hooke escreve “todas as formas de movimento de restituição ou de elasticidade”, “seja em rarefação, em extensão, ou em condensação e compressão”.

Como podemos observar acima, Hooke dizia que podemos experimentar o que ele mesmo fez e sugere usar-se “fio de trefilação de aço, ferro ou latão”. E mais à frente Hooke escreve em modo de conclusão que “esta é a regra ou lei da natureza sobre a qual todas as formas de movimento de restituição ou de elasticidade procedem, seja em rarefação, em extensão, ou em condensação e compressão”. Diz-nos ainda que isto serve para todos os corpos “sejam de metal, madeira, pedra, terracota, cabelo, buzinas, seda, ossos, tendões, vidros, ou outros materiais elásticos”. Aqui deparamo-nos com um problema: como é que Hooke afirma que esta “regra” funcionará de igual modo para todos estes corpos? De acordo com a experiência que Hooke descreve, devemos usar como materiais aço, ferro ou latão. No entanto, na sua conclusão, Hooke escreve que a sua “regra” serve para vários corpos, referindo corpos que não têm uma natureza elástica. Será que o autor replicou a experiência com os outros materiais apesar de não o descrever neste texto? Mais à frente Hooke escreve:

From this it will be easie to make a Philosophical Scale to examine the weight of any body without putting in weight of any body without putting in weights, which was that which I mentioned at the end of my description of Helioscopes, the ground of which was veiled unde this Anagram, c e d i n n o p s s t t u, namely, *Ut pondus sic tensio*.

This Scale I contrived in order to examine the gravitation of bodies towards the Center of the Earth, to examine whether bodies at a further distance from a Center of the Earth did not lose somewhat of their power or tendency towards it. And propounded it as one of the

---

<sup>160</sup> HOOKE, Robert (1678), *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*, Londres: John Martyn, tipógrafo da Royal Society, p. 4

<sup>161</sup> Id., *op. cit.*, p. 2

Experiments to be tried at the top of the Pike of *Teneriff*, and attempted the same at the top of the Tower of *St. Pauls* before the burning of it in the late great Fire; as also at the top and bottom of the Abby of *St. Peters* in *Westminster* though these being by but small distances removed from the Surface, I was not able certainly to perceive any manifest difference. I propounded the same also to be tried at the bottom and several stations deep Mines; and *D. Power* did make some trials to that end, but his instruments not being good, nothing could be certainly concluded from them.<sup>162</sup>

E aqui perguntamos: estamos a falar de *corpos elásticos* ou apenas de *corpos*? Estamos a falar de *forças elásticas* ou somente de *forças*? Se as conclusões de Hooke partiram do que ele nos descreve inicialmente – das suas experiências com molas usando materiais como aço ferro ou latão – como é que ele conclui que a mesma “regra” se aplicaria a outros materiais, ou mesmo para a medição da força da gravidade? Inicialmente, Hooke fala de “corpos elásticos”, contudo, a “gravitação” não se trata de um “corpo elástico”. O autor também não nos explica qual a natureza das experiências que fez no topo da Abadia de St. Peter e na torre de St Paul. Ele diz-nos, “deste modo propus-me a fazer algumas experiências que pudessem testar este fenómeno” – mas quais experiências? Com que métodos ou instrumentos foram feitas?

Apesar de todas estas questões, não nos podemos esquecer de que Hooke não se está a dirigir a *nós* mas a um público específico de uma determinada época com um contexto diferente do nosso. O público de Hooke poderia saber exatamente a natureza das suas experiências, não sendo necessário relatá-las detalhadamente neste texto. Contudo, o autor também não expõe como se deu a passagem lógica entre as experiências com molas e a possibilidade de medição da força da gravidade, o que nos deixa aqui um espaço de incerteza em relação à evolução da sua teoria da gravitação. Parece-nos que o autor dá um salto intelectual entre a lei que se refere à elasticidade dos corpos e uma lei que pudesse servir para medir forças, de um modo mais abrangente, tendo como alvo principal a força da gravitação. Assim, desde o momento em que Hooke estabelece a sua lei até ao momento em que nos diz que essa “regra” servirá para obter uma “escala filosófica” que permita “examinar a gravitação dos corpos em relação ao centro da terra”, fica-nos a faltar um argumento intermédio. Será a exposição de Hooke incoerente? Ou será antes a nossa interpretação errónea?

Francesco Sacco diz-nos algo pertinente sobre a Lei de Hooke no seu recente livro *Real Mechanical, Experimental – Robert Hooke’s Natural Philosophy*. O autor argumenta que aquilo que na mecânica clássica é conhecido como Lei de Hooke não será exatamente aquilo que filósofo natural estava a formular. Vejamos a seguinte passagem de Sacco:

In Hooke’s natural philosophy, “*ut tensio sic vis*” meant something different than what in classical mechanics is known as Hooke’s law. The concept of elastic limit, for instance, is missing in Hooke’s study of elastic bodies, and the mechanical model employed by Hooke is quantitatively incompatible with the law that still bears his name. Like Petty, Hooke thought that the law was just a form of a more general principle of matter.<sup>163</sup>

Partindo da afirmação de Sacco, talvez possamos perceber o “salto” que Hooke dá. Parece-nos que a “regra da natureza” apresentada em *Of Spring*, não será a Lei de Hooke que hoje conhecemos. A “elasticidade” de Hooke refere-se a uma propriedade dos corpos – à natureza vibratória da matéria. Hooke não procurava definir uma *Lei da Elasticidade* – Hooke procurava uma *Lei Universal* que

---

<sup>162</sup> HOOKE, Robert (1678), *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*, Londres: John Martyn, tipógrafo da Royal Society, pp. 5-6

<sup>163</sup> SACCO, Francesco G. (2020), *Real, Mechanical, Experimental: Robert Hooke’s Natural Philosophy*, Reino Unido: Springer, p. 84

pudesse servir para criar uma “escala filosófica” para medição de forças – e entre elas, claro – a *força da gravidade*.

Voltemos a olhar para a seguinte passagem: “Nor is it observable in these bodys only, but in all other springy bodies whatsoever, whether Metal, Wood, Stones, baked Earths, Hair, Horns, Silk, Bones, Sinews, Glass, and the like.”<sup>164</sup>

Hooke usa a palavra “springy” para se referir a corpos que divergem na sua constituição. Sabendo que é neste texto que vamos encontrar aquilo que hoje conhecemos como Lei de Hooke, podemos tender a pensar estes corpos como, literalmente, “elásticos”. Mas agora que já percebemos que Hooke não se limitava a criar uma lei para medir a elasticidade dos corpos, podemos pensar em outros modos de ler esta passagem.

Vejamos o significado de *spring* e de *springy* em alguns dicionários:

characterized by spring or elasticity; flexible; resilient  
(of land) abounding in or having springs of water.<sup>165</sup>

act of springing or leaping," late 14c., from spring (v.). The elastic wire coil that returns to its shape when stretched is so called from early 15c., originally in clocks and watches. As a device in carriages, coaches, etc., it is attested from 1660s.<sup>166</sup>

1. possessing or characterized by resilience or bounce
2. (of a place) having many wells or springs of water<sup>167</sup>

“Springy” pode-se referir a corpos “flexíveis”. Assim, alargamos um pouco o entendimento da regra de que Hooke nos fala.

Voltemos a *Of Spring*:

Further I suppose, that all such particles of matter as are of a like nature, when not separated by others of a differing nature will remain together, and strengthen the common Vibration of them all against the differing Vibrations of the ambiente bodies.

According to this Notion I suppose the whole Universe and all the particles thereof to be in a continued motion, and every one to take its share of space or room in the same, according to the bulk of its body, or according to the particular power it hath to receive, and continue this or that peculiar motion. (...) All bulky and sensible bodies whatsoever I suppose to be made up or composed of such particles which have their peculiar and appropriate motions which are kept together by the differing or dissonante Vibrations of the ambiente bodies or fluid.<sup>168</sup>

E olhemos novamente para definição de corpo e de movimento:

By Body I mean somewhat receptive and communicative of motion or progression. Nor can I have any other Idea thereof, for neither Extension nor Quantity, hardness nor softness, fluidity nor fixedness, Rarefaction nor Densation are the proprieties of Body, but Motion or

---

<sup>164</sup> HOOKE, Robert (1678), *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*, Londres: John Martyn, tipógrafo da Royal Society, p. 4

<sup>165</sup> Fonte: *Word Reference*, “springy”, URL: <https://www.wordreference.com/definition/springy>

<sup>166</sup> Fonte: *Online Etymology Dictionary*, “spring”, URL: <https://www.etymonline.com/word/spring>

<sup>167</sup> Fonte: *Collins Dictionary*, “springy”, URL: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/springy>

<sup>168</sup> HOOKE, Robert (1678), *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*, Londres: John Martyn, tipógrafo da Royal Society, p. 9

somewhat moved. By Motion I understand nothing but a power or tendency progressive of Body according to several degrees of Velocity.<sup>169</sup>

Para Hooke, “corpo é movimento” e movimento uma “tendência progressiva do corpo em diferentes graus de velocidade”. Olhemos mais uma vez a passagem referida acima:

These two do always counterballance each other in all the effects, appearances, and operations of Nature, and therefore it is not impossible but that they may be one and the same; for a little body with great motion is equivalente to a great body with little motion as to all its sensible effects in Nature.

I do further suppose then that all things in the Universe that become the objects of our senses are compounded of these two (which we will for the present suppose distinct essences, though possibly they may be found hereafter to be only differing conceptions of one and the same essence) namely, Body and Motion.<sup>170</sup>

Conforme nos diz o autor, “as partículas que compõem todos os corpos devem a maior parte da sua extensão sensível ou potencial a um movimento vibratório”, ou seja, corpo e movimento não existem isoladamente sendo o movimento vibratório uma característica inerente à matéria.

Agora podemos observar com maior clareza porque é que Hooke refere vários materiais, inclusive materiais que não eram considerados elásticos, e porque é que o autor parte das experiências com molas para tentar medir a força da gravitação: sendo o movimento vibratório uma característica inerente da matéria então, ela estaria então em todos os corpos, desde aqueles que manuseamos até àqueles que observamos no mapa celeste. Assim, o método usado para medir a força exercida pelo peso na mola (e vice-versa), poderia ser usado para medir a força da gravitação. Hooke usou as suas experiências com molas para medir *forças*, de um modo mais abrangente, e sendo a gravidade uma força então ele poderia tentar medi-la adaptando os métodos relatados em *Of Spring*.

Tendo em conta tudo isto, podemos retirar as seguintes conclusões: a Lei de Hooke, razão pela qual Hooke é lembrado nos manuais, não é exatamente aquilo que Hooke estava a formular. Hooke queria encontrar uma escala para medir forças – o que o autor aqui chama de “escala filosófica” – cuja finalidade seria medir a força gravítica. A partir das suas experiências com molas, Hooke já tinha percebido a relação entre a força (deformação) e a distância. Para chegarmos aos resultados de Hooke usámos o valor de  $9,8 \text{ m/s}^2$ , valor que temos hoje definido para a constante gravítica. Tendo em conta os resultados do autor, podemos concluir que Hooke também estaria já perto desta constante. As suas tentativas de medição da força da gravitação não foram bem-sucedidas, como o autor nos diz, “por estes lugares se situarem a pequenas distâncias da superfície, não fui capaz de observar qualquer diferença clara. Propus que o mesmo fosse feito no fundo de algumas estações mineiras e o Dr. Power chegou a fazer algumas experiências nesse sentido, no entanto, como os instrumentos que possuía não eram de boa qualidade, nada pôde ser concluído a partir dos seus dados.” Assim, em *Of Spring*, podemos perceber que Hooke procurava uma demonstração matemática para a força da gravitação, não estando apenas “supondo”, conforme foi acusado pelo seu opositor. Observamos também que para Hooke a gravidade se tratava de uma força mecânica (não animista), como bem conclui Centore, dando-nos o exemplo de como Hooke se refere ao *Genesis*.<sup>171</sup>

---

<sup>169</sup> HOOKE, Robert (1678), *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*, Londres: John Martyn, tipógrafo da Royal Society, p. 7

<sup>170</sup> Ibid.

<sup>171</sup> Cf. CENTORE, F.F (1970), *Robert Hooke's Contributions to Mechanics*, Países Baixos: Martinus Nijhoff, The Hague, p. 7: “The whole universe consists of matter, motion, and the ether, which is nothing more than refined matter. The first thing God did was to make matter. Next, God put matter in motion. Along with motion came two great laws of motion which constitute the form and order of the world; namely, light and gravity, both of which, claimed Hooke, could be explained in a

## Capítulo 6

### A Lei de Hooke em manuais do ensino secundário e superior das últimas duas décadas

No capítulo anterior vimos a apresentação da “Lei de Hooke” em *Of Spring* e acompanhámo-la de uma exemplificação da experiência com molas que levou Hooke até a essa “regra da natureza”. Analisámos também a maneira como o autor apresenta essa lei verificando que há uma discrepância entre o que o autor escreveu e aquilo que hoje nos é apresentado como a sua lei. De modo a consolidar este argumento, iremos analisar agora uma amostra de seis exemplos de exposição da sua lei em manuais escolares. Eles incluem dois manuais estrangeiros: um orientado para o ensino básico e outro para ensino universitário; três manuais do ensino secundário português e um livro sobre mecânica de autores portugueses orientado para o ensino superior.

Em *Mecânica – Uma introdução*, destinado a alunos do ensino superior, dos autores António Jorge Silvestre e Paulo Ivo Cortez, podemos encontrar o seguinte:

Um tipo de força que surge com muita frequência é a força elástica,  $\vec{F}_e$ , cuja intensidade aumenta linearmente com o afastamento do seu ponto de aplicação de uma dada posição de equilíbrio,  $x_0$ , de acordo com a lei

$$F_e = -k (x - x_0)$$

Para simplificar a discussão tomaremos  $x_0 = 0$ , o que corresponde simplesmente à escolha da origem do eixo  $xx$ . Um exemplo é a força exercida por uma mola sobre um corpo que lhe esteja ligado: ao alongarmos ou comprimirmos a mola, esta “resiste” à deformação, tentando puxar ou empurrar o corpo de volta à posição de equilíbrio, que é a posição para a qual a mola tem o seu comprimento natural, isto é, o comprimento que tem na ausência de forças aplicadas. A *constante elástica*,  $k$ , depende do material constituinte da mola e das suas dimensões. É expressa no SI em  $N m^{-1}$ .

A equação (3.15) exprime a chamada Lei de Hooke: a força exercida por uma mola é proporcional à sua deformação. Da terceira lei de Newton conclui-se imediatamente que a intensidade da força que é necessário exercer sobre uma mola para deformar,  $F_{def}$ , é igualmente proporcional à deformação que produz, sendo válida a relação vectorial

$$\vec{F}_{def} = -\vec{F}_e^{172}$$

Aqui, a explicação da Lei de Hooke não é apresentada devidamente. Em primeiro lugar,  $-kx$  não se encontra naquilo que Hooke definiu como a sua lei. Depois disso, é dito, “Da terceira lei de Newton conclui-se imediatamente que a intensidade da força que é necessário exercer sobre uma mola para deformar,  $F_{def}$ , é igualmente proporcional à deformação que produz”, contudo, o  $F$  aqui apresentado não é deduzido a partir da terceira lei de Newton, mas antes da própria Lei de Hooke.

---

purely mechanistic way.” Cf. Igualmente Id., *op. cit.*, pp. 94-95 “Hooke abhorred animistic or antropomorphic explanations in natural philosophy. This was especially true in his doctrine on the cause of gravity. (...) To Hooke’s way of thinking he could not call upon spirits, intelligences, or the like to hold the planets away from the sun since these were ruled out by this mechanistic philosophy.”

<sup>172</sup> SILVESTRE, António Jorge; TEIXEIRA, Paulo Ivo Cortez (2021), *Mecânica – Uma introdução*, 3ª edição, Lisboa: Gradiva, Cap. 3 “Leis de Newton”, p. 145

Num manual de um tipo um pouco diferente, Física de 12ºano (2009), no capítulo “Movimentos Oscilatórios”, podemos ler o seguinte sobre a Lei de Hooke:

Consideremos uma mola horizontal com uma extremidade fixa e na outra um corpo preso que se encontra numa superfície com atrito desprezável. Se puxarmos o corpo para a direita e em seguida o largarmos, ele vai tender a voltar para a posição de equilíbrio. O mesmo acontecerá se comprimirmos a mola empurrando o corpo para a esquerda, o que nos leva a concluir que, qualquer que seja a posição em que coloquemos o corpo, ele tende para a posição de equilíbrio, pelo facto de estar sujeito a uma força resultante com direcção horizontal e sempre com o sentido a apontar para a posição de equilíbrio.

Quando afastamos o corpo da posição de equilíbrio, a mola passa a exercer nele uma força no sentido contrário ao deslocamento e com intensidade directamente proporcional ao deslocamento. A força elástica da mola é dada pela Lei de Hooke:

$$F = -kx$$

O sinal “-” significa que o sentido da força é contrário ao deslocamento associado à deformação da mola, sendo  $k$  a constante elástica da mola cujo valor está inerente a essa mesma mola.

O facto de a força apontar sempre para a posição de equilíbrio e diminuir à medida que o corpo se aproxima da posição de equilíbrio faz com que o corpo possua um movimento oscilatório em torno da posição de equilíbrio. Quando o corpo passa na posição 0 – posição de equilíbrio, vindo da posição A – amplitude máxima –, ele possui um determinado valor de velocidade que faz com que ele se desloque até à posição -A, invertendo aí o sentido de movimento, possuindo, assim, um movimento de “vaivém”, isto é, um movimento oscilatório.”<sup>173</sup> E de seguida avançamos para juntar a Lei de Hooke à segunda Lei de Newton: Tendo em conta a 2.ª Lei de Newton e a Lei de Hooke:

$$F = ma \text{ e } F = -kx$$

podemos concluir que:

$$ma = -kx$$

ou seja:

$$a = -\frac{k}{m}x$$

A aceleração é directamente proporcional ao valor do deslocamento, e quando isto acontece diz-se que o movimento é harmónico simples (MHS).

No movimento harmónico simples, a aceleração é proporcional ao deslocamento.<sup>174</sup>

Neste texto, a explicação da Lei de Hooke também não está de acordo com o que o autor expôs. Nas experiências que Hooke expõe, o fator do “atrito” aqui mencionado não aparece uma vez que o autor não “empurrou um objeto”, mas antes usou a força da mola e o peso, deixando que a força da gravidade atuasse no corpo. Apesar de em *Of Spring* haver um momento<sup>175</sup> em que Hooke tem em conta a resistência do meio, não é nessa altura que a sua lei é definida.

---

<sup>173</sup> MARTINS, António; RODRIGUES, Bruno, *Eu e a Física 12º*, Porto: Publicações ASA, pp. 106-107

<sup>174</sup> Id., *op. cit.*, p. 107

<sup>175</sup> HOOKE, Robert (1678), *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*, Londres: John Martyn, tipógrafo da Royal Society, p. 21

Vejamos ainda um outro manual de física de 12º ano, *Eu e a Física 12*. No capítulo sobre “Movimentos Oscilatórios” podemos ler:

Lei de Hooke

De todos os movimentos oscilatórios, o mais importante é o movimento harmónico simples (MHS). Além de ser o movimento oscilatório mais simples de analisar, constitui uma descrição bastante precisa de muitas oscilações que se observam na Natureza.

O nosso estudo vai centrar-se neste tipo de movimento. Para isso, analisemos o movimento de um corpo ligado a uma mola (leve), numa superfície plana e horizontal de atrito desprezável. O eixo do referencial  $Ox$ , considerado segundo a direcção de oscilação da mola, tem origem na posição de equilíbrio.

Neste sistema ideal, o corpo desliza ao longo da superfície horizontal sob acção de três forças:

- O peso,  $\vec{P}$ ;
- A reacção normal,  $\vec{R}_n$ ;
- A força elástica ou força restauradora,  $\vec{F}$ .

Como a reacção normal,  $\vec{R}_n$ , exercida pela superfície, é igual e oposta ao peso,  $\vec{P}$ , do bloco, a força resultante exercida sobre o bloco é a força elástica,  $\vec{F}$ , da mola. (...)

Durante a compressão da mola, esta tende a regressar à posição de equilíbrio ( $x = 0$ ). A força exercida pela mola, responsável por esse efeito, é a força elástica,  $\vec{F}$ .

A força elástica,  $\vec{F}$ , é, portanto, uma força restauradora, pois tende a levar a mola à sua posição de equilíbrio.

Como durante a compressão é  $x < 0$ , a força elástica actua no sentido contrário, sentido positivo ( $F > 0$ ).

Durante a distensão da mola, esta tende, também, a regressar à posição de equilíbrio ( $x = 0$ ). A força exercida pela mola, responsável por esse efeito, continua a ser a força elástica,  $\vec{F}$ .

Como durante a distensão é  $x > 0$ , a força elástica actua no sentido negativo ( $F < 0$ ).

O sentido da força elástica é tal que aponta sempre para a posição de equilíbrio.

À coordenada de posição  $x$  chama-se alongação. Esta corresponde à medida da deformação da mola relativamente à sua posição de equilíbrio. À alongação máxima chama-se amplitude.

Considera-se a alongação positiva ( $x > 0$ ) na distensão negativa ( $x < 0$ ) na compressão.

A alongação,  $x$ , e a componente escalar da força elástica têm sempre sinais opostos.

Verifica-se, experimentalmente, que o valor da força elástica é directamente proporcional e de sinal contrário à alongação da mola, seja ela positiva ou negativa – Lei de Hooke.

$$F = -kx$$

(...) Esta é a expressão que traduz a Lei de Hooke, onde a constante  $k$  – constante elástica da mola – é uma característica da mola. Mede a sua rigidez, isto é, a intensidade da força elástica (ou da força deformadora), por unidade de alongamento. As molas “duras” ou “fortes” têm valores elevados de  $k$ .

(...) Combinando a Lei de Hooke com a Segunda Lei de Newton, obtemos a expressão que nos dá o valor da aceleração com que se move o corpo ligado à mola quando esta oscila. Como o atrito é considerado desprezável, a força resultante é igual à força elástica. Então, tem-se:

$$\begin{cases} F = -kx \\ F = ma \end{cases} \Rightarrow a = -\frac{k}{m}x$$

Esta expressão mostra que a aceleração do movimento não é constante.

Num movimento harmónico simples, a aceleração é, em cada instante, proporcional e de sentido contrário à elongação do oscilador.<sup>176</sup>

Neste manual, a Lei de Hooke é apresentada erradamente. O texto refere “Esta é a expressão que traduz a Lei de Hooke, onde a constante  $k$  – constante elástica da mola – é uma característica da mola”, no entanto, Hooke não define uma constante para cada mola.

Numa edição recente<sup>177</sup> do manual de Física de 12º ano, atualmente em uso em Portugal para o ano letivo de 2021/2022, não encontramos qualquer referência à Lei de Hooke. Os capítulos que falam sobre forças e sobre movimentos oscilatórios apresentam explicações derivadas das Leis de Newton.

Agora vejamos um outro manual, *College Physics*, no capítulo “Further Applications of Newton’s Laws: Friction, Drag, and Elasticity”, destinado ao ensino básico:

We now move from consideration of forces that affect the motion of an object (such as friction and drag) to those that affect an object’s shape. If a bulldozer pushes a car into a wall, the car will not move but it will noticeably change shape. A change in shape due to the application of a force is a deformation. Even very small forces are known to cause some deformation. For small deformations, two important characteristics are observed.

First, the object returns to its original shape when the force is removed—that is, the deformation is elastic for small deformations. Second, the size of the deformation is proportional to the force—that is, for small deformations, Hooke’s law is obeyed. In equation form, Hooke’s law is given by

$$F = k\Delta L$$

where  $\Delta L$  is the amount of deformation (the change in length, for example) produced by the force  $F$ , and  $k$  is a proportionality constant that depends on the shape and composition of the object and the direction of the force. Note that this force is a function of the deformation  $\Delta L$ —it is not constant as a kinetic friction force is. Rearranging this to

$$\Delta L = \frac{F}{k}$$

makes it clear that the deformation is proportional to the applied force. Figure 5.13 [não incluída aqui] shows the Hooke’s law relationship between the extension  $\Delta L$  of a spring or of a human bone. For metals or springs, the straight line region in which Hooke’s law pertains is much larger. Bones are brittle and the elastic region is small and the fracture abrupt.

---

<sup>176</sup> MACIEL, Noémia; VILLATE, Jaime E.; AZEVEDO, Carlos; BARBOSA, Maciel F. (2009), *Eu e a Física 12 1ª Parte*, revisão científica: MARQUES, M. Céu, Porto: Porto Editora, pp. 85-86

<sup>177</sup> VENTURA, Graça; FIOLHAIS, Manuel; FIOLHAIS, Carlos; PAIXÃO, José António; NOGUEIRA, Rogério; PORTELA, Carlos (2021), *Novo 12F – 12º ano Física*, Lisboa: Texto Editores

Eventually a large enough stress to the material will cause it to break or fracture.<sup>178</sup>

Neste manual, a Lei de Hooke aparece mais uma vez associada a Newton, estando inserida no capítulo “Further Applications of Newton’s Laws: Friction, Drag and Elasticity.” Apesar disso, a definição aqui apresentada para a Lei de Hooke difere um pouco dos exemplos anteriores: fala-se de forças e deformações, dando uma maior abrangência à lei: “the object returns to its original shape when the force is removed—that is, the deformation is elastic for small deformations. Second, the size of the deformation is proportional to the force”. A noção de “elasticidade” aqui também se aproxima mais de “flexibilidade”: fala-se da diferença de resistência entre ossos e metal; fala-se de tensão.

Por fim, vamos ainda observar um outro tipo de manual destinado a ensino superior, *The Physics of Vibrations and Waves*, no capítulo sobre “Simple Harmonic Motion”. Depois de nos serem apresentados exemplos de sistemas em que se verifica movimento harmônico simples, pode ler-se o seguinte:

All of these systems are simple harmonic oscillators which, when slightly disturbed from their equilibrium or rest position, will oscillate with simple harmonic motion. This is the most fundamental vibration of a single particle or one-dimensional system. A small displacement  $x$  from its equilibrium position sets up a restoring force which is proportional to  $x$  acting in a direction towards the equilibrium position.

Thus, this restoring force  $F$  may be written

$$F = -sx$$

where  $s$ , the constant of proportionality, is called the stiffness and the negative sign shows that the force is acting against the direction of increasing displacement and back towards the equilibrium position. A constant value of the stiffness restricts the displacement  $x$  to small values (this is Hooke’s Law of Elasticity). The stiffness  $s$  is obviously the restoring force per unit distance (or displacement) and has the dimensions

$$\frac{\text{force}}{\text{distance}} \equiv \frac{MLT^{-2}}{L}$$

The equation of motion of such a disturbed system is given by the dynamic balance between the forces acting on the system, which by Newton’s Law is

$$\text{mass times acceleration} = \text{restoring force}^{179}$$

Aqui a Lei de Hooke é reduzida à ideia de elasticidade, seguindo-se a ela “The equation of motion of such a disturbed system is given by the dynamic balance between the forces acting on the system, which by Newton’s Law is (...)”.

Tendo em conta os casos apresentados, podemos concluir que a Lei de Hooke exposta aparece associada à elasticidade e associada às Leis de Newton, sendo que a exposição matemática é semelhante em todas.

Qual é então o problema desta abordagem? É estar desprovida de contexto, e sem ele do propósito de quem a criou. Se tivéssemos em conta a História, esta lei apareceria num capítulo anterior ao que se refere à Lei de Gravitação Universal (que em todos os exemplos é atribuída meramente a Newton). Com esse contexto, perceber-se-ia também que a Lei de Hooke não foi criada com o objetivo

<sup>178</sup> OPENSTAX COLLEGE (2013), *College Physics*, Houston: Rice University, p. 179

<sup>179</sup> PAIN, H. J (2007), *The Physics of Vibrations and Waves*, Reino Unido: Wiley, Cap. 1 “Simple Harmonic Motion”, pp. 3-4

de se determinar a força elástica. Ela foi criada nas tentativas de Hooke para a medir a força de gravitação, estando assim no caminho para a construção de uma Lei da Gravitação Universal.

E agora, podemos colocar a seguinte questão: mas qual é o problema em esta lei ser ensinada assim? Michael Matthews em *The Pendulum: Scientific, Historical, Philosophical and Educational Perspectives*, diz-nos o seguinte: “In education it is sensible to beg in with simple or idealised cases. Presenting students with the full story – the truth, the whole truth, and nothing but the truth – is rarely a good idea.”<sup>180</sup> Porquê? É este caso um problema de “simplificação”? Ou será antes desconhecimento? O autor diz ainda sobre a disputa entre Newton e Hooke que “Discussing the confrontation between Newton and Hooke, students quickly come to realize that science is very much a human endeavor, and that scientists embody the full range of human foibles”.<sup>181</sup> O contexto desmistifica não só os *ídolos* como “as grandes leis da ciência”. Mas poderia alguém perguntar: qual é a diferença entre se apresentar apenas a Lei de Hooke – a fórmula acompanhada de uma frase que se crê ser um resumo da lei – em vez de toda esta história? A diferença é que essa fórmula não é a Lei de Hooke. A ciência é menos objetiva do que muitas vezes gostaríamos que fosse. O pensamento científico é muito mais complexo: não é só fórmula; não é só teoria.

---

<sup>180</sup> MATTHEWS, Michael R.; GAULD, Colin F.; STINNER, Arthur (2005), *The Pendulum: Scientific, Historical, Philosophical and Educational Perspectives*, Holanda: Springer, p. 6

<sup>181</sup>Cf. Id., *op. cit.*, p. 11

## Capítulo 7

### *La pomme de la discorde*<sup>182</sup>

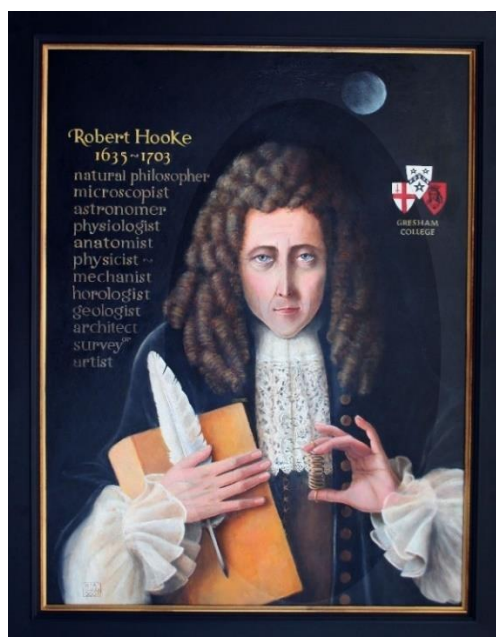


Figura 12

*Memorial at Gresham College* (2007), por Rita Greer. A imagem é representativa pois não chegou até nós qualquer retrato de Robert Hooke. Disponível em: *Wikimedia Commons*,

URL:[https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Paintings\\_by\\_Rita\\_Greer#/media/File:18\\_Memorial\\_at\\_Gresham\\_College.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Paintings_by_Rita_Greer#/media/File:18_Memorial_at_Gresham_College.JPG)

Apesar de não ter chegado até nós nenhum retrato de Robert Hooke, graças ao trabalho desenvolvido pela artista Rita Greer, que se dedica ao retrato histórico, hoje temos vários quadros em sua memória. Em 2003, data da publicação da biografia de Hooke por Lisa Jardine, a artista iniciou o *Robert Hooke Project* com o mote “to put him back into history”, no decorrer do qual procurou reconstruir a imagem deste autor criando quadros representativos de diferentes momentos da sua vida e obra. Estas representações têm sido usadas nos últimos anos para dar imagem a uma voz que conhecemos pelos textos e pela História.

Robert Hooke é hoje considerado por vários como precursor de Newton<sup>183</sup>. Hoje temos acesso a cartas e aos *Posthumous works*<sup>184</sup> de Hooke que nos dão uma visão mais ampla da vida e obra do autor. Neste capítulo procurar-se-á consolidar o que até aqui foi dito sobre Robert Hooke refletindo sobre o seu obscurecimento comparativamente a Isaac Newton. Começemos por analisar a passagem que a seguir se apresenta:

<sup>182</sup> ROMAGNAN, Jean-Pierre (2014), “Robert Hooke et Isaac Newton: la pomme de la discorde” in *HAL Archives – Ouvertes*, vol. 40, pp. 20-23: *La pomme de la discorde* é o título de um artigo da autoria de Jean – Pierre Romagnan que fala sobre as disputas entre Newton e Hooke. O artigo não traz informações novas sobre o conflito, dá, contudo, um título considerado pertinente para retratar a controvérsia entre os dois cientistas.

<sup>183</sup>JOURDAIN, Philip (1913), “Robert Hooke as precursor of Newton” in *The Monist*, vol. 23:3, Oxford: Oxford University Press, pp. 353-384

<sup>184</sup> HOOKE, Robert (1705), *The Posthumous Works of Robert Hooke: containig his Cutlerian Lectures and other Discourses*, Londres: Sam Smith e Benj. Walford, tipógrafos da Royal Society

Os antigos estudavam esta parte da mecânica em termos das cinco potências ligadas às artes manuais e quase não davam atenção à gravidade (por esta não ser uma potência manual) exepcto no movimento dos pesos por estas potências. Mas, estando confrontados com a filosofia natural mais do que com as artes manuais, e escrevendo a respeito das potências da natureza mais do que a respeito das potências manuais, vamos concentrar-nos nos aspetos da gravidade, leveza, forças elásticas, resistência dos fluidos e forças desta sorte, atractivas ou impulsivas.<sup>185</sup>

Este excerto pertence ao prefácio escrito por Newton em *Principia*. Contudo, faz-nos lembrar aquilo que pudemos ler de Hooke ao longo deste estudo. Quem antes de Newton “deu atenção à gravidade”? Quem se preocupou não só com as “artes manuais”, mas também com as “potências da natureza”? Quem se concentrou em temas como “gravidade, leveza, forças elásticas, resistência dos fluidos e forças desta sorte, atractivas ou impulsivas”? Vejamos ainda o seguinte excerto:

Pois muitas coisas me levam a suspeitar que todos os fenómenos podem depender de certas forças pelas quais as partículas dos corpos, por causas ainda hoje não conhecidas, ou são impelidas umas para as outras ou se agregam em figuras regulares, ou são impelidas umas das outras e se afastam.<sup>186</sup>

Mais uma vez, esta citação pertencente a Newton podia bem ser parte integrante do discurso de Robert Hooke em *Of Spring*, por exemplo, quando define os conceitos de *congruência* e *incongruência*.

Apesar de o foco deste trabalho ser Robert Hooke, é importante realçar que nem só este autor teve em atenção estas questões. Eugene Hecht no seu recente artigo, “The true story of Newtonian gravity”, diz-nos o seguinte sobre a Lei da Gravitação Universal: “The several ideas embodied in the Law of Universal Gravitation developed over the period from roughly the late 16th to the late 17th century; the gravitational constant G was not explicitly added until the late 19th century.”<sup>187</sup> Hecht afirma ainda que:

More often than not, we teach Eq. (1)<sup>188</sup> as if were a gift fully conceived by Newton and presented in his *Mathematical Principles of Natural Philosophy* (the *Principia*, 1687). Despite the books and articles that imply as much, this story is far from true. In fact, this famous equation does not appear anywhere in the *Principia*, nor is it likely to be found in any textbook in English prior to the 20th century.<sup>189</sup>

O que este autor aqui nos diz é que a equação que corresponde à Lei da Gravitação Universal não aparece nos *Principia*. Hecht também nos relembra que para a formulação desta lei, muitos antes de Hooke e de Newton contribuíram, nomeadamente Horrocks (1618-1641), Roberval (1602-1675), Boulliau (1605-1694), Torricelli (1608-1647), Baliani (1582-1666), Borelli (1608-1679) e Kepler (1571-1630).

Podemos partir daqui para o artigo “Manuais e História da Ciência: a segunda lei de Newton”, de Ricardo Lopes Coelho. O autor fala-nos precisamente do facto de não ter sido Newton quem formulou a lei que hoje nos é ensinada como:

$$F = m \times a$$

---

<sup>185</sup> NEWTON, Isaac (edição portuguesa: 2010), *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, trad. RODRIGUES, J. Resina, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, p. 8

<sup>186</sup> Cf. Id., *op. cit.*, p. 9

<sup>187</sup> HECHT, Eugene (2021) “The true story of Newtonian gravity” in *American Journal of Physics*, vol. 89, p. 683

<sup>188</sup>  $F = G (m_1 m_2)/r^2$ ,  $G = 6.67 \times 10^{-11}$

<sup>189</sup> Ibid.

Conforme o autor nos diz:

Aprendemos no ensino pré-universitário e no universitário que a segunda lei de Newton é  $F = ma$ . Sabendo que Newton escreveu a sua grande obra *Os princípios matemáticos da filosofia da natureza*, nos finais do séc. XVII, pensamos que aí, no capítulo das leis, aparece essa equação. Não aparece. Historiadores da ciência procuraram a equação em toda a obra e não a encontraram; também a procuraram nos manuscritos, mas em vão. Newton nunca escreveu  $F = ma$ .<sup>190</sup>

Ricardo Lopes Coelho defende que a equação foi publicada por Leonhard Euler (1707-1783) 65 anos depois da publicação dos *Principia*. Tendo em conta que a segunda Lei de Newton é dependente da sua primeira, o autor lembra-nos que a Lei da Inércia tem sido questionada por vários justamente por não ter verificação experimental. Ricardo Coelho afirma mesmo que há uma incompatibilidade entre esta lei e a gravitação:

No caso da lei da inércia, o problema é outro: trata-se duma incompatibilidade lógica entre a lei e a gravitação. Se admitimos que dois quaisquer corpos se atraem, não conseguimos observar um corpo livre, porque o observador seria suficiente para inviabilizar o movimento livre.<sup>191</sup>

Acrescentando que “Se o movimento do corpo livre não pode ser observado, como sabemos que ele se move? Mas se não sabemos, como podemos ter uma lei que nos garante como ele se move?”<sup>192</sup>. Ao comparar o método de Euler e de Newton, o autor conclui ainda o seguinte: “Não precisamos de interpretar força  $F$  em  $F = ma$  em função da primeira lei de Newton, se  $F = ma$  não é a segunda lei de Newton”.<sup>193</sup>

Podemos ainda acrescentar que a primeira Lei de Newton também não é de Newton. Como já vimos no terceiro capítulo, outros antes de Newton formularam esta lei. Aliás, o próprio Newton menciona a importância de Galileu para a formulação da primeira e segunda das leis “de Newton”: “Pelas duas primeiras Leis e pelos dois primeiros corolários, Galileu descobriu que a queda dos graves obedecia à razão dupla do tempo e que o movimento dos projecteis se fazia em trajectórias parabólicas.”<sup>194</sup> Christopher Wren é também mencionado, assim como Wallis e Huygens, que diz terem determinado “as regras para o choque e reflexão de corpos duros”.<sup>195</sup>

Ou seja, não só a Lei da Inércia não tem prova experimental, e pode até ser descartada para calcular a segunda lei (de Euler), como não foi Newton quem primeiro a formulou. E em relação à terceira Lei de Newton haverá alguma coisa a dizer? Vejamos aquilo que Newton escreve nos *Principia* quando apresenta a terceira lei do movimento:

*A toda a acção opõe-se sempre uma igual reacção. Isto é, as acções mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e opostas.*

Aquilo que puxa ou comprime outra coisa é puxado ou comprimido da mesma maneira por essa coisa. Se premir uma pedra com um dedo, o dedo é igualmente premido pela pedra.<sup>196</sup>

---

<sup>190</sup> COELHO, Ricardo Lopes (2019), “Manuais e História da Ciência: a segunda lei de Newton” in *História da Ciência e Ensino – construindo interfaces*, vol. 20, p. 536

<sup>191</sup> Id., *op. cit.*, p. 538

<sup>192</sup> Id., *op. cit.*, p. 539

<sup>193</sup> Id., *op. cit.*, p. 549

<sup>194</sup> NEWTON, Isaac (edição portuguesa: 2010), *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, trad. RODRIGUES, J. Resina, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, p. 53

<sup>195</sup> Id., *op. cit.*, p. 55

<sup>196</sup> NEWTON, Isaac (edição Portuguesa: 2010), *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, trad. RODRIGUES, J. Resina, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, p. 42

Hooke diz algo muito semelhante em *Of Spring* quando nos fala da sua “Regra da Natureza” e das experiências que a demonstram: “The same will happen supposing the body (moved by the Spring) to be proportionately heavy, and the powers of the Spring the same with the first.”<sup>197</sup>

Olhemos agora para uma das experiências que Newton expõe quando aborda a terceira lei do movimento:

Fiz experiências com bolas de lã, fortemente compactada. Em primeiro lugar, lançando pêndulos desde material um contra o outro e medindo a sua reflexão, determinei a quantidade da sua força elástica; depois, conhecida esta força, estimei como deviam ser as reflexões em outros casos de colisão. Os resultados da experiência ulteriores confirmaram que as bolas se afastam sempre uma da outra com uma velocidade relativa que está para a velocidade relativa com que se aproximavam numa relação de proximidade 5:9. Bolas de ferro regressam com quase a mesma velocidade, bolas de cortiça com uma velocidade algo menor; e em bolas de vidro a proporção era de cerca de 15 para 16. E assim a Lei III, no que diz respeito a percussões e reflexões, é provada por uma teoria confirmada exactamente pela experiência.<sup>198</sup>

Hooke não usa as mesmas palavras de Newton, ou seja, que as forças atuam em sentidos opostos, mas as suas experiências com molas mostram-nos que é isso que ocorre entre o peso/massa e a força/mola. Hooke também já considerava a inércia como fator, assim como tinha noção de haver uma relação entre força, massa e movimento. Ou seja, ambos, Hooke e Newton, chegam a conclusões semelhantes: o primeiro usa a distensão da mola como modo de determinar a força elástica concluindo que a força da mola é proporcional à tensão exercida; o segundo, usando o afastamento das bolas como modo de determinar a força elástica, conclui que a força exercida pela lã é igual e contrária à tensão exercida pela colisão. Enquanto Hooke parte de um sistema estático, Newton parte de um sistema dinâmico, mas ambos têm como objetivo analisar e explicar a força da gravitação conseguindo ambos determinar a força elástica em cada um dos casos apresentados. Contudo, enquanto Hooke afirma que chegou a uma “Regra ou Lei da Natureza”, Newton refere ter encontrado uma “Lei do Movimento”. Tendo Hooke publicado a obra *Of Spring* em 1678, cerca de 9 anos antes da publicação dos *Principia*, é pouco credível pensar que Newton não conhecesse o texto de Hooke. Note-se que Newton refere, aliás, vários nomes ao longo dos *Principia*, contudo, nem em relação à força elástica o nome de Hooke é referido.

Se analisarmos o capítulo que se refere à terceira lei do movimento nos *Principia*, encontramos também afirmações semelhantes às de Hooke, por exemplo: quando o autor discorre sobre a dureza ou elasticidade dos corpos dizendo que as conclusões apresentadas tanto podem servir para analisar as propriedades de corpos duros ou flexíveis, “Se se quer testar esta regra com corpos não perfeitamente duros, há apenas que diminuir a reflexão numa certa proporção, conforme exigido pela força elástica”<sup>199</sup>, lembra-nos o que Hooke escreve em *Of Spring*: “is it observable in these bodys only, but in all other springy bodies whatsoever, whether Metal, Wood, Stones, baked Earths, Hair, Horns, Silk Bones, Sinews, Glass, and the like. Respect being had to the particular figures of the bodies bended, and the advantageous or disadvantageous ways of bending them.”<sup>200</sup> As explicações de Newton são ainda intercaladas por frases como “determinei a quantidade da força elástica”; “estimei como deviam ser as reflexões”. Sobre isto fala-nos Robert Hooke muito antes da publicação dos *Principia*. Tendo tudo isto em conta, devemos considerar a terceira “Lei do Movimento de Newton” como sendo de “Newton”?

---

<sup>197</sup> HOOKE, Robert (1678), *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*, Londres: John Martyn, tipógrafo da Royal Society, p. 21

<sup>198</sup> NEWTON, Isaac, *op. cit.*, p. 60

<sup>199</sup> *Id.*, *op. cit.*, p. 59

<sup>200</sup> HOOKE, Robert (1678), *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*, Londres: John Martyn, tipógrafo da Royal Society, p. 4

A Lei da Gravitação Universal criada no século XVII foi um produto de uma época com contribuições de vários autores, nomeadamente Robert Hooke, aprimorando-se até ao séc. XIX. Não podemos atribuir a Lei da Gravitação meramente a Newton e, associado a este nome, dar-lhe o título de “descoberta”. Esta lei foi um produto de discussão filosófica e científica que terá começado com nomes como Descartes, Huygens, Borelli, Kepler, Gilbert, Boulliau, Galileu, Roberval, Horrocks e Hooke estendendo-se até ao séc. XIX, usando aqui como marco a contestação de Einstein.

Tendo em conta o caso da evolução desta lei, com o foco nas contribuições de Robert Hooke, podemos observar que a ciência é construída por camadas e que o erro de Newton terá sido querer tomar o pomo da Discórdia para si. Newton não estava aos ombros de gigantes, mas aos ombros de todos aqueles que contribuíram para a ciência, independentemente do seu tamanho ou do seu estatuto social.

Torna-se assim importante analisar o porquê de Robert Hooke não ter sido valorizado na sua época. Importa também refletir sobre a razão pela qual esta questão é hoje relevante, e importa pensar sobre o porquê de *a lei* ainda ser ensinada como sendo a “Lei da Gravitação de Newton”, e no que se refere às leis do movimento que a justificam, as “Leis de Newton.” Começemos por pensar em primeiro lugar nas razões pelas quais não foi dado crédito a Robert Hooke e, conseqüentemente, nas razões pelas quais vários têm recuperado as suas contribuições.

Porque é que se reclama os direitos de autoria? Se pensarmos de um ponto de vista económico, há vantagens diretas para um autor ter a patente de uma descoberta ou não ter – ele vai receber o retorno em numérico e em prestígio social que lhe permitirá, talvez, uma progressão de carreira, ou a Antiga *fama*. Mas, se os atores em análise já faleceram, se já não vão tirar vantagem de uma retificação de autoria, para que serve então a sua discussão?

No livro *Scientific Authorship – Credit and Intellectual Property in Science* editado por Mario Biagioli e Peter Galison, encontramos um conjunto de textos de diferentes autores que refletem sobre o conceito de autoria em ciência. Roger Cartier começa por refletir sobre este assunto usando o exemplo de Foucault no seu conhecido texto *Qu'est-ce qu'un auteur?* Sobre o período histórico em análise em comparação com a Idade Média o autor refere o seguinte acerca da posição de Foucault:

In the early modern period, according to Foucault's loose chronology, this distribution of the author-function is turned upside down. On the one hand, “scientific texts were accepted on their own merits and positioned within an anonymous and coherent conceptual system of established truths and methods of verification. Authentication no longer required reference to the individual who had produced them; the role of the author disappeared as an index of truthfulness and, where it remained as an inventor's name, it was merely to denote a specific theorem, [substance], a group of elements or pathological syndrome.” From that moment on, a rule of anonymity commanded the production and accreditation of scientific statements.<sup>201</sup>

Será isto verdade? Se observarmos com atenção a História da Ciência deste período, vemos, pelo contrário, as discussões sobre patentes aumentarem: temos o conhecido caso da disputa entre Gottfried Leibniz (1646-1716) e Isaac Newton na invenção do cálculo, e nesta tese são referidos mais dois casos, a disputa de Hooke com Huygens a respeito do *Spring balanced controled*, e a reclamação de Hooke a Newton pela menção do seu nome no momento da publicação dos *Principia*.

Foucault associa o estabelecimento da noção de autoria ao nascimento de uma sociedade patriarcal burguesa que valoriza a propriedade privada. Associa-a também ao aparecimento de razões

---

<sup>201</sup> BIAGIOLI, Mário, GALISON, Peter (2003), *Scientific Authorship – Credit and Intellectual Property in Science*, Nova Iorque: Routledge, p. 14

judiciais para mediar as questões autorais.<sup>202</sup> Mas não podemos concordar com Foucault neste aspeto quando vemos que a discussão sobre autoria é anterior à existência de um *Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos*. Roger Cartier acaba por discordar de Foucault e acrescenta uma outra questão relevante: o aparecimento da imprensa com a sua solidificação e a pressão exercida pelo mercado editorial para adquirir os direitos comerciais das obras. Observemos a seguinte passagem de Roger Cartier em que cita Mark Rose: “It might be said that the London booksellers invented the modern proprietary author, constructing him as a weapon in their struggle with the bookseller of the provinces.”<sup>203</sup> Adrian Johns diz-nos ainda sobre este período que o mercado editorial estava já a estabelecer-se no século XVII e com ele o conceito de *autoria*:

The character of authorship in the late seventeenth century was in flux. In particular, authorial identity had long been subject to conventions within the printing and bookselling community for recognizing “propriety” in the book trade.” (...) “Legitimate printing houses spread into provincial centers, creating for the first time a prosperous national industry. In the fierce world of competition now being created, reprinting, translating, epitomizing, and abridging were honed into instruments of commercial warfare.”<sup>204</sup>

Pensemos sobre esta afirmação: se a considerarmos de um modo estrito, então hoje estaríamos preocupados com “justiça histórica”, tomando como exemplo o tópico deste trabalho, porque temos a herança que este mercado plantou em nós por razões comerciais? Não podemos negar a influência que a afirmação de um mercado editorial teve nas discussões sobre autoria, mas tendo em conta o tema deste trabalho, esse fator não será suficiente para justificar a razão pela qual vários estudiosos procuraram retirar Robert Hooke da sombra de Isaac Newton.

Vários autores têm procurado perceber o porquê de Hooke ter sido desvalorizado. Steven Shapin no artigo “Who was Robert Hooke?”<sup>205</sup>, procura perceber isto olhando para a posição social de Hooke. A sua conclusão é a de que o papel social de Hooke se aproximava do *artesão*, ele não era um *sir*, um *gentleman*, portanto, ele não poderia reclamar os mesmos direitos. Mas na verdade – Hooke reclamou.

Myles W. Jackson em “Can artisans be scientific authors?”<sup>206</sup>, analisando o caso de Joseph von Fraunhofer, o autor apresenta três razões para artesãos não serem iguais aos *savants*:

Yet artisans were rarely granted the status of experimental philosopher for three reasons. First, as I have argued elsewhere, the importance of secrecy to the artisanal trade was seen as anathema to the Republic of Letters, whose members prided themselves on the openness of scientific knowledge. Second, savants were reluctant to accept artisans as their intellectual equals, as craftsmen were members of a commercial nexus and financial interests tainted their work, And finally, members of the Republic of Letters argued that instrument makers merely manipulated preexisting materials; they did not create anything.<sup>207</sup>

Ellen Drake, por seu lado, analisa a posição social de Hooke e conclui que a análise de Shapin é demasiado simplista e que esta não se enquadra exatamente na posição que Hooke de facto ocupava, dizendo mesmo, “The argument that Hooke’s problems sprang from the accident of his birth and that he

---

<sup>202</sup> BIAGIOLI, Mário, GALISON, Peter (2003), *Scientific Authorship – Credit and Intellectual Property in Science*, Nova Iorque: Routledge, p. 13

<sup>203</sup> Id., *op. cit.*, p. 17

<sup>204</sup> Id., *op. cit.*, pp. 69-70

<sup>205</sup> “Who was Robert Hooke?” in HUNTER, Michael, SCHAFFER, Simon (1989), *Robert Hooke – New studies*, Reino Unido: Boydell Press, pp. 253-285

<sup>206</sup> BIAGIOLI, Mário, GALISON, Peter, *op. cit.*, pp. 113-131

<sup>207</sup> Id., *op. cit.*, pp. 113-114

was discriminated against because he was not a “gentleman” simply has no substance.”<sup>208</sup> Hooke era respeitado pelos *gentlemen* da sua altura, participando do mesmo palco, sendo até próximo do rei Charles II.<sup>209</sup> Conforme nos diz a autora:

According to Shapin, because no “gentleman” would find himself in such a position, Hooke was not a gentleman; therefore, he did not behave as a gentleman and was treated as a servant for much of his life. This is an interesting thesis but much too simplistic and can be refuted. Although Hooke started at Oxford with impecunious means, a situation not uncommon at university, his birth, as a son of a cleric, was not considered so low as to exclude him from the higher intellectual and economic circles. The social standing of “yeoman” class, although not aristocratic, was well respected. Isaac Newton whose father was a small farmer was also of yeoman origin, and Newton was a “subsizar” at Cambridge, the equivalent of “servitor” at Oxford. No one today would deny that Newton was a “gentleman” because of his larger than life reputation. As with Newton, Hooke’s contemporaries respected him for his abilities and talents.<sup>210</sup>

A autora considera na sua análise que “somehow over the centuries of adulation of his contemporary, Isaac Newton, Hooke has slipped into obscurity”<sup>211</sup>. Usando como exemplo a controvérsia entre John Wallis (1616-1703) e Robert Hooke em relação à mudança no eixo de rotação da terra, a autora critica os julgamentos feitos a Hooke que o referem como “exagerado” nas suas reivindicações dizendo que Hooke sofre, ainda nos nossos tempos, the “bad press”,<sup>212</sup> e acrescentando que, “Nevertheless, it is still strange that Hooke would be singled out for censure by modern writers when he was only reacting (when he did react) in a way that was normal and characteristic of the time, especially because there was just cause for his reaction.”<sup>213</sup> A autora concorda antes com Espinasse, que considera Hooke “the chief professional scientist” of the Royal Society.”<sup>214</sup> Ellen Drake diz ainda que:

It has become positively fashionable among some authors to picture Hooke in a negative light, regardless of the circumstances involved. Hooke’s honest and straight-forward statements made publicly or in letters directed to his critic are taken by later writers as “bellicose.”<sup>215</sup>

Mais do que a defesa feita pela autora do caráter de Hooke, são importantes os factos: Hooke teve contributos para a ciência que não foram reconhecidos, não interessa de que tipo foram as suas reivindicações.

A posição de Ellen Drake parece-nos mais adequada do que a de Shapin, tendo em conta aquilo que hoje conhecemos da vida e obra de Robert Hooke. Se pensarmos bem, Robert Hooke e Isaac Newton trabalharam vários temas comuns. Hooke morreu antes de Newton deixando assim uma maior margem para Newton ter sido sobreposto nas narrativas. Conforme refere Ellen Drake citando Robert Merton:

As sociologist Robert Merton (1970) noted, it was not so much a sudden biologic emergence of gifted people in the 17th century that caused the flowering of science but rather the interest of extraordinary people in the same things. Hooke was not alone in his scientific interests

---

<sup>208</sup> DRAKE, Ellen Tan (1996), *Restless Genius – Robert Hooke and His Earthly Thoughts*, Nova Iorque: Oxford University Press, pp. 104-105

<sup>209</sup> DRAKE, Ellen Tan (1996), *Restless Genius – Robert Hooke and His Earthly Thoughts*, Nova Iorque: Oxford University Press, p. 6

<sup>210</sup> Id., *op. cit.*, p. 12

<sup>211</sup> Id., *op. cit.*, pp. 5-6

<sup>212</sup> Id., *op. cit.*, p. 105

<sup>213</sup> Ibid.

<sup>214</sup> Id., *op. cit.*, p. 18

<sup>215</sup> Id., *op. cit.*, p. 105

and pursuits. The spectrum of his interests was so broad, in fact, that his activities converged with those of many others.<sup>216</sup>

Talvez este facto seja mais determinante para o que vemos acontecer com Robert Hooke do que a sua posição social: a competição era enorme, vários autores estavam a trabalhar os mesmos temas e, para além disso, os “direitos de autor” que temos hoje não existiam na sua época. Sem nenhuma entidade reguladora da “autoria”, seria fácil tomar o trabalho de outro como seu. É também de notar que a expressão escrita de Hooke é menos clara do que a de Newton, o que pode ter influenciado a difusão de das respetivas obras.

O que é mais desapontante na controvérsia entre Newton e Hooke é observar que o nome que serviu de mote a uma nova maneira de fazer e pensar ciência tenha sido o de alguém que não agiu para com os seus pares “iluminado pela razão”, negando a colaboração de Hooke para as ideias expostas nos *Principia*. Mas de que nos vale fazer esta reivindicação hoje? Porque é que é importante?

Paul Ricoeur, em *A memória, a história, o esquecimento*, fala-nos da “função simbolizadora da escrita”,<sup>217</sup> refletindo sobre a o papel da história como “sepultura”:

À primeira vista, a representação do passado como reino dos mortos parece condenar a história a só oferecer à leitura um teatro de sombras, agitadas por sobreviventes em *sursis* da condenação à morte. Resta uma saída: considerar a operação historiográfica como o equivalente escriturário do rito social do sepultamento, da sepultura.<sup>218</sup>

O autor acrescenta ainda sobre esta ideia de uma “sepultura imaterial”:

De facto, a sepultura não é somente um lugar à parte de nossas cidades, esse lugar chamado cemitério onde colocamos os despojos dos vivos que retornam ao pó. Ela é um ato, o de enterrar. (...) A sepultura-lugar torna-se sepultura-ato: “Onde a pesquisa realizava uma crítica dos possíveis presentes, a escrita constrói uma sepultura para o morto.”<sup>219</sup>

A análise de Ricoeur pode servir como ferramenta para uma possível resposta a estas perguntas, pois que mais é o ímpeto em valorizar as contribuições de Hooke na História senão retificar a sua sepultura e epitáfio? A sua sepultura física, aliás, não foi até agora encontrada.<sup>220</sup> Assim, com a escrita da História, oferecemos a Robert Hooke “uma terra e um túmulo”.<sup>221</sup>

Construímo-nos a nós e às nossas Histórias a partir de modelos, de referências, que depois se traduzem em atitudes, identidades, sistemas, com impacto na sociedade em que nos inserimos. É por isso que é importante *reescrever* a História, *as Histórias*, encontrar *erros* que influenciaram vidas. *Corrigir* a História é também corrigir-nos a nós mesmos e lançar para o futuro sementes do que queremos ver a seguir. Mais do que preocupados com a imprensa ou com a sociedade burguesa na defesa de autoria, talvez estejamos preocupados com a *memória* e sua conseqüente preservação. Desde os Antigos que a memória é fundamental na cultura europeia. Hooke é um *herói* que não foi velado e cuja memória ficou em perigo de *esquecimento*. Devemos *velar* os nossos *mortos* por respeito ao conhecimento que foi desenvolvido por eles, por nós. E isto é ainda uma questão de *honra*. Defender Robert Hooke é defender *o conhecimento*, é preservar a memória e a cultura.

---

<sup>216</sup> DRAKE, Ellen Tan (1996), *Restless Genius – Robert Hooke and His Earthly Thoughts*, Nova Iorque: Oxford University Press, p. 113

<sup>217</sup> RICOEUR, Paul (edição brasileira: 2020), *A memória, a história, o esquecimento*, Brasil: UNICAMP, p. 378

<sup>218</sup> Id., *op. Cit.*, pp. 376-377

<sup>219</sup> Id., *op. Cit.*, pp. 377-378

<sup>220</sup> Cf. DRAKE, Ellen Tan, *op. cit.*, p. 56: “(...) his grave is now lost. His body was originally buried on March 6, 1703, at ‘about ye Midle of the South Eyle in ye Church.’”

<sup>221</sup> RICOEUR, Paul, *op. cit.*, p. 380

## Conclusão

Ao longo desta dissertação analisaram-se os contributos de Robert Hooke para a criação de uma Lei da Gravitação Universal. Neste percurso foi-se ainda revisitando o trabalho realizado por este filósofo experimental em outras matérias científicas.

A nível internacional, hoje já contamos com vários autores que se dedicam a estudar o legado de Robert Hooke. Conforme se conclui pelo primeiro capítulo, é unânime que Hooke teve contributos significativos para a criação da Lei da Gravitação Universal que não foram reconhecidos durante um longo período histórico.

No segundo capítulo, espreitamos a *Micrographia* de Hooke, um livro fundamental na História da Ciência que fez Hooke ser reconhecido pelos seus pares na época da sua publicação. Neste livro encontram-se observações sobre diferentes ramos da ciência, muitos deles sujeitos a uma análise mais detalhada. É também aqui que Hooke expõe pela primeira vez os conceitos de *congruência* e *incongruência*, estabelecendo que os movimentos essenciais na natureza são de afastamento e aproximação, ou consonância/dissonância.

Pudemos também observar, no terceiro capítulo, como Hooke desde cedo tentou perceber, experimentalmente e teoricamente, como fundamentar a teoria de Copérnico em termos físicos e como isolar a força da gravidade, que manteria os corpos em equilíbrio em órbitas constantes em torno do sol. É também importante que aqui se apresente uma experiência com pêndulos, ferramenta também usada por Isaac Newton para fundamentar experimentalmente as ideias expostas nos *Principia*.

No capítulo quarto, encontramos Hooke já solidamente associado ao círculo da ciência britânica da sua altura, sendo reconhecido pelo seu trabalho e dando as suas *lectures*. Aqui, pudemos ainda visitar a importância que teve Hooke na reconstrução de Londres depois do *Great Fire*. É também neste capítulo que analisamos a *Attempt* de Hooke onde são definidos, pela primeira vez no seu trabalho, preceitos para uma teoria da gravitação universal.

Com a análise de *Of Spring*, no capítulo quinto, observa-se uma maturação do pensamento de Hooke relativamente aos seus conceitos de *congruência* e *incongruência* e à sua teoria vibratória da matéria, que envolvem uma explicação para a força da gravitação. Entramos, a partir daqui, nas suas experiências com molas, estas foram também testadas tendo-se chegado às mesmas conclusões do autor: “The Power of any Spring is in the same proportion with the Tension thereof: That is, if one power stretch or bend it one space, two will bend it two, and three will bend it three, and so forward.”. Ao compararmos o modo como a Lei de Hooke é exposta em alguns manuais escolares com aquilo que o autor expõe no seu texto original, concluímos, entre o capítulo quinto e sexto, que há uma discrepância entre aquilo que é hoje considerado como a sua lei e aquilo que o autor de facto estipulou.

No capítulo sétimo, temos já bem assente que os contributos de Robert Hooke para a criação da Lei da Gravitação Universal foram significativos e que foi, e é, um lapso histórico a ausência de menção do seu nome. Nos círculos académicos, temos já bastante informação a este respeito. Contudo, no ensino básico, médio e até mesmo superior, Hooke continua a estar na sombra histórica de Isaac Newton. Neste capítulo questiona-se também se as leis do movimento de Newton, conforme são frequentemente referenciadas, deverão o seu nome a este autor, fazendo-se ainda uma reflexão sobre a noção de autoria em ciência. Aqui, também se reflete sobre a consequente relevância do tema apresentado e a relação que isto tem com a própria escrita da História. Por fim, em anexo, apresenta-se ainda uma tradução remissiva e comentada de parte da obra *Of Spring* para português.

O tema desta tese motivou ainda uma reflexão sobre a maneira como a ciência é ensinada e o quanto isso pode ter influência no aproveitamento escolar. Acreditamos que um ensino da ciência cultivado através da História e da Filosofia poderá ser importante para a criação de uma comunidade mais interessada na ciência e na sua comunicação. O caso de Robert Hooke, no que diz respeito à lei que tem o seu nome e à Lei da Gravitação Universal, à qual se associa o nome de Isaac Newton, são exemplos de como conhecer o contexto no qual foi formulada uma determinada lei científica pode tornar esse mesmo princípio menos obscuro ou até mesmo alterá-lo.

Considera-se que a análise aqui feita dos textos de Robert Hooke foi a necessária para a construção de uma cronologia em direção ao que se procurava mostrar, ficando, contudo, de fora uma análise mais aprofundada de outros temas abordados nas suas obras. Fica, assim, em aberto a vontade de conhecer melhor os contributos desse autor para outras áreas do conhecimento científico. Fica também a vontade de elaborar sobre a maneira como a ciência é ensinada e quais os contributos que a História e a Filosofia das Ciências poderiam ter neste campo.

Termina-se este trabalho com consciência de que se trata de um começo. Aqui se deram os primeiros passos na investigação científica, e, como em todos os primeiros passos, falta firmeza no andar, falta conhecimento do solo que se pisa, há incertezas e há obstáculos que ainda não se conseguiu ultrapassar. Espera-se continuar este caminho e alcançar, um dia, talvez, um andar mais forte e seguro.

## Bibliografia

### Fontes primárias:

DESCARTES, René (edição portuguesa: 2016), *Princípios de Filosofia*, trad. GAMA, João, Coimbra: Edições 70

GALILEI, Galileu (edição portuguesa: 2015), *Sidereus Nuncius – O Mensageiro das Estrelas*, trad. LEITÃO, Henrique, Lisboa: Edições Fundação Calouste Gulbenkian

HOOKE, Robert (1664), *Micrographia: or some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses with Observations and Inquiries thereupon*, Londres: Jo. Martyn e Ja. Allestry, tipógrafos da Royal Society

HOOKE, Robert (1666), *On the inflection of a direct motion into a curve by supervening Attractive principle*, Londres: Royal Society Library, RB/1/20/34

HOOKE, Robert (1674), *An attempt to prove the motion of the Earth from Observations*, Londres: J.Martyn, tipógrafo da Royal Society

HOOKE, Robert (1676), *A description of Helioscopes, And some other instruments*, Londres: J.Martyn, tipógrafo da Royal Society

HOOKE, Robert (1678), *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*, Londres: Jonh. Martyn, tipógrafo da Royal Society

HOOKE, Robert (1705), *The Posthumous Works of Robert Hooke: containig his Cutlerian Lectures and other Discourses*, Londres: Sam Smith e Benj. Walford, tipógrafos da Royal Society

HUYGENS, Christiaan (edição inglesa: 1977), “The motion of Colliding Bodies”, Trad. Richard J. Blackwell in *Isis*, vol. 68:4, pp.574-597, EUA: The University of Chicago Press on behalf of The History of Science Society

NEWTON, Isaac (edição inglesa: 1999), *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*, EUA: University of California Press

NEWTON, Isaac (edição portuguesa: 2010), *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, trad. RODRIGUES, J. Resina, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian

THOMPSON, Benjamin (1789), “An Inquiry concerning the Source of Heat which is excited by friction”, in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 88, pp. 80-105

TURNBULL, H.W. (1960), *The correspondence of Isaac Newton V.II 1676-1687*, Cambridge: Royal Society University Press

### Fontes secundárias:

AÏT-TOUATI, Frédérique (2012), “Give Me a Telescope and I Shall Move the Earth”: Hooke's Attempt to Prove the Motion of the Earth from Observations” in *History of Science*, vol. 50:1, pp. 75-91

BENNETT, Jim; COOPER, Michael; HUNTER, Michael; JARDINE, Lisa (2003), *London's Leonardo - The Life and Work of Robert Hooke*, EUA: Oxford University Press

BIAGIOLI, Mário, GALISON, Peter (2003), *Scientific Authorship – Credit and Intellectual Property in Science*, Nova Iorque: Routledge

BORELLI, Alfonso Giovanni (1666), *Theoricæ medicorum planetarum ex causis physicis deductæ*, Florença: Tipografia S.M.D

CENTORE, F.F. (1970), *Robert Hooke's Contributions to Mechanics*, Países Baixos: Martinus Nijhoff, The Hague

CHAPMAN, Allan (2005), *England's Leonardo – Robert Hooke and the Seventeenth-Century Scientific Revolution*, Reino Unido: Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia

COELHO, Ricardo Lopes (2019), “Manuais e História da Ciência: a segunda lei de Newton”, in *História da Ciência e Ensino – construindo interfaces*, vol. 20, pp. 536-549

DRAKE, Ellen Tan (1996), *Restless Genius – Robert Hooke and His Earthly Thoughts*, Nova Iorque: Oxford University Press

ERIC, Cindy Hodoba, (2018), *The Capture of Spring - Hooke's “Vibrative Pulse Communicated”*, Sydney: University of Sydney

FORD, Brian J. (2015), “The incredible, invisible world of Robert Hooke” in *The Microscope*, vol. 63:1, pp. 23–34

FORD, Brian J (2014), “The Hidden Secrets of Snowflakes” in *The Microscope*, vol. 62:4, pp. 171–181

GILBERT, William (edição inglesa: 1991), *De Magnete*, trad. MOTTELAY, P.Fleury, EUA: Dover Publications

GOUK, Penelope (2006), “The role of acoustics and music theory in the scientific work of Robert Hooke”, in *Annals of Science*, vol. 37:5, pp. 573-605

GRIBBIN, John (2003), *Science: A History*, Reino Unido: Penguin Books

GRIBBIN, John, GRIBBIN, Mary (2017), *Out of the Shadow of a Giant: How Newton Stood on the Shoulders of Hooke and Halley*, Reino Unido: William Collins

GUICCIARDINI, Niccolò (2020) “On the invisibility and impact of Robert Hooke's theory of gravitation” in *De Gruyter*, vol. 3, pp. 266-282

HECHT, Eugene (2021) “The true story of Newtonian gravity” in *American Journal of Physics*, vol. 89, pp. 683- 692

HESSE, Mary B. (1962), *Forces and Fields – The concept of Action at Distance in the History of Physics*, EUA: Dover Publications

HESSE, Mary B. (1966), “Hooke’s Vibration Theory and the Isochrony of Springs” in *Isis*, vol. 57:4. pp. 433-441

HUNTER, Michael, SCHAFFER, Simon (1989), *Robert Hooke – New studies*, Reino Unido: Boydell Press

HUNTER, Michael; COOPER, Michael (org. 2006), *Robert Hooke Tercentennial Studies*, Reino Unido: Routledge

KEPLER, Johannes (edição inglesa: 2010), *The Six-Cornered Snowflake – A New Year’s Gift* (1611), Filadélfia: Paul Dry Books

KIRK, G.S, RAVEN, J.E, SCHOFIELD.M (2013), *The Presocratic Philosophers*, Reino Unido: Cambridge University Press

KOYRÉ, Alexandre (1952), “An Unpublished Letter of Robert Hooke to Isaac Newton” in *Isis*, vol. 43:4, pp. 312-337

JARDINE, Lisa (2004), *The curious life of Robert Hooke – The man who measured London*, Nova Iorque: Harper Perennial

JOURDAIN, Philip (1913), “Robert Hooke as precursor of Newton” in *The Monist*, vol. 23:3, pp. 353-384

LAWSON, Ian (2006), “Crafting the microworld: How Robert Hooke constructed knowledge about small things” in *Notes and Records*

LAWSON, Ian (2015), “Bears in Eden, or, this is not the garden you’re looking for: Margaret Cavendish, Robert Hooke and the limits of natural philosophy”, in *British Society for the History of Science*, pp.583-605

MACIEL, Noémia; VILLATE, Jaime E.; AZEVEDO, Carlos; BARBOSA, Maciel F. (2009), *Eu e a Física 12 (1ª Parte)*, revisão científica: MARQUES, M. Céu, Porto: Porto Editora

MATTHEWS, Michael R.; GAULD, Colin F.; STINNER, ARTHUR (2005), *The Pendulum: Scientific, Historical, Philosophical and Educational Perspectives*, Holanda: Springer

MARTIN, D.C (1960), “Sir Robert Moray, F.R.S (1608?-1673)” in *Notes and Records*, vol. 15:1

MARTINS, António; RODRIGUES, Bruno, *Eu e a Física 12º*, Porto: Publicações ASA

MELI, Domenico Bertoloni (2006), *Thinking With Objects – The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century*, EUA: The Johns Hopkins University Press,

MOYER, Albert E. (1977), “Robert Hooke's Ambiguous Presentation of "Hooke's Law"” in *Isis*, vol. 68:2, pp. 266-275

NAUENBERG, Michael (2005), “Hooke’s Memorandum on the development of orbital Dynamics” in *History and Philosophy of Physics*, vol. 21:29:56

NORTH, John (2008), *Cosmos*, EUA: The University of Chicago Press

- OPENSTAX COLLEGE (2013), *College Physics*, Houston: Rice University
- PAIN, H. J (2007), *The Physics of Vibrations and Waves*, Reino Unido: Wiley
- PURRINGTON, Robert D. (2009), *The First Professional Scientist Robert Hooke and the Royal Society of London*, Alemanha: Birkhäuser Verlag
- REGER, Daniel, et al (edição portuguesa: 1997), *Química: Princípios e Aplicações*, trad. MATOS, António Pires de, et al, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian
- RICOEUR, Paul (edição brasileira: 2020), *A memória, a história, o esquecimento*, Brasil: UNICAMP
- ROMAGNAN, Jean-Pierre (2014), “Robert Hooke et Isaac Newton: la pomme de la discorde” (2014) in *HAL Arquivos – Ouvertes*, vol. 40, pp. 20-23
- SACCO, Francesco G. (2020), *Real, Mechanical, Experimental: Robert Hooke's Natural Philosophy*, Reino Unido: Springer
- SCOTT, J.F; HARTLEY, Harold (1960), “William, Viscount Brouncker, P.R.S (1620-1684)” in *Notes and Records*, vol. 15, pp. 147-157
- SFETCU, Nicolae (2019), *Isaac Newton vs. Robert Hooke on The Law of Universal Gravitation*, Milão: MultiMedia Publishing
- SILVESTRE, António Jorge; TEIXEIRA, Paulo Ivo Cortez (2021), *Mecânica – Uma introdução*, Lisboa: Gradiva
- THOREN, Victor E. (1990), *The Lord of Uraniborg – a biography of Tycho Brahe*, EUA: Cambridge University Press
- TINNISWOOD, Adrian (2019), *The Royal Society & The Invention of Modern Science*, Reino Unido: Head of Zeus
- VEYNE, Paul (edição portuguesa: 2008), *Como se escreve a História?*, Coimbra: Edições 70
- WESTFALL, Richard (2007), *The life of Isaac Newton*, Reino Unido: Cambridge University Press
- WESTFALL, Richard (1979), *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*, Reino Unido: Cambridge University Press
- WESTFALL, Richard (1967), “Hooke and The Law of Universal Gravitation: A Reappraisal of a Reappraisal” in *The British Journal for the History of Science*, vol. 3:3, pp. 245 - 261
- WHITESIDE, D.T. (1991), “The Prehistory of the Principia from 1664 to 1686” in *Notes and Records – The Royal Society Journal of The History of Science*, vol. 45, pp. 11-61
- WILLIAMS, E (2006), “Hooke's law and the concept of the elastic limit”, in *Annals of Science*, vol. 12:1, pp. 74-83
- VENTURA, Graça; FIOLEAIS, Manuel; FIOLEAIS, Carlos; PAIXÃO, José António; NOGUEIRA, Rogério; PORTELA, Carlos (2021), *Novo 12F – 12º ano Física*, Texto Editores: Lisboa
- ZILSEL, Edgar (edição inglesa: 2003), *The Social Origins of Modern Science*, EUA: Kluwer Academic Publisher

## Anexo

### Tradução para português da primeira parte da obra: *Lectures de Potentia Restitutiva or Of Spring: Explaining the Power of Springing Bodies*

Para terminar este trabalho, deixaremos o leitor com a tradução para o português, remissiva e comentada, de parte da obra *Of Spring*. Apenas foi introduzida aqui a parte do texto de Hooke que se refere aos tópicos aqui abordados. Procurou-se respeitar, sempre que possível, a forma e o estilo do texto original. Sendo esta a primeira tradução de um texto de Robert Hooke para português, deixa-se a vontade de ver obras deste *English Leonardo* a circular pelas mãos dos leitores portugueses.

\*\*\*

*Lectures de potentia restitutiva ou*

*Sobre as Molas*

Para uma explicação do poder dos corpos elásticos

Às quais são adicionadas algumas coletâneas

I

*Potentia Restitutiva*

*ou*

*Mola*

Pág. 1

A *teoria da elasticidade*, embora já tenha sido estudada por diversos matemáticos eminentes da nossa época não foi, até agora, publicada por nenhum<sup>222</sup>. Já passaram cerca de dezoito anos desde que descobri esta teoria, mas, planeando aplicá-la a um uso particular<sup>223</sup>, optei por não a publicar até agora.

Três anos se passaram desde que Sua Majestade teve o prazer de ver, em White-Hall, a experiência<sup>224</sup> que me permitiu elaborar esta teoria<sup>225</sup>, assim como o funcionamento do meu relógio de mola<sup>226</sup>.

---

<sup>222</sup> Note-se o realce para originalidade das ideias expostas.

<sup>223</sup> O “uso particular” de que fala Hooke é medir/testar a força da gravitação, conforme se defende no capítulo 5.

<sup>224</sup> Refere-se à experiência na Abadia de Westminster mencionada no capítulo 4.

<sup>225</sup> Sendo a experiência na Abadia de Westminster relacionada com as suas “suposições” para a criação de uma teoria da gravitação, torna-se evidente que a Lei de Hooke aqui apresentada tem relação direta com a procura de explicação matemática da força da gravitação.

<sup>226</sup> Será este relógio de mola também motivo de disputa com Huygens.

Dois anos se passaram desde que expus esta teoria através de um anagrama no final do meu livro sobre as *Descrições de Helioscópios: c e i i n o s s t t u u, id est, Ut tensio sic vis*<sup>227</sup>; com a qual pretendia já apresentar o seguinte: que a força de qualquer mola é proporcional à sua tensão, ou seja, se uma força<sup>228</sup> estica ou provoca extensão de um espaço, duas forças provocarão extensão de dois espaços e três forças, três espaços, e assim sucessivamente. Tendo dito isto, como a teoria é muito curta, a maneira de a testar será muito simples.

Pegue então numa quantidade de fio de trefilação uniforme, seja de aço, ferro ou de latão, e enrole-o num cilindro, terminando numa hélice, com o comprimento e número de voltas que desejar. De seguida, transforme as pontas do arame em presilhas. De uma das pontas suspenda o rolo sobre um prego e da outra suspenda o peso que pretende testar, e, suspendendo diferentes pesos, observe atentamente enquanto o fio se estende em função do peso que adiciona e em comparação com a extensão que atinge sem nenhum peso adicionado.<sup>229</sup> No final desta experiência deverá concluir que:

Pág.2

Uma onça, uma libra, ou um determinado peso<sup>230</sup>, alongar-se-á numa linha, ou polegada ou num certo comprimento, assim como duas onças, duas libras ou dois pesos se estenderão por duas linhas, duas polegadas ou dois comprimentos; e três onças, libras ou pesos, em três linhas, polegadas ou comprimentos; e assim por diante. E esta é a *regra* ou *Lei da Natureza*<sup>231</sup>, sobre a qual todas as formas de movimento de restituição ou de elasticidade procedem, seja em rarefação, em extensão, ou em condensação e compressão.<sup>232</sup>

Ou então, pegue numa mola de relógio<sup>233</sup> e enrole-a em espiral, de modo a que nenhuma parte dela possa tocar a outra, depois arranje uma roda de latão muito leve, ou um objeto semelhante que prefira, e fixe a um mandril que tenha dois pequenos pivôs de aço. Usando os pivots, vire cuidadosamente a roda de modo a que se possa enrolar uma pequena seda sobre ela; de seguida, coloque essa roda numa estrutura, de modo que a roda possa mover-se livremente sobre os seus pivôs; prenda a extremidade central da referida mola perto do orifício do pivô, ou do centro da estrutura em que o eixo do mandril se move, e prenda a outra extremidade ao aro da roda. A seguir, envolvendo um fio fino de seda flexível por um pequeno índice preso à estrutura e apontando para a borda da roda, faça uma marca com tinta, ou algo semelhante, na parte da borda para a qual o índice aponta; de seguida, coloque um dracma na balança e deixe a roda assentar, fazendo de seguida outra marca na borda para onde o índice aponta; depois, adicione mais um dracma e deixe a roda

---

<sup>227</sup> Expondo a sua teoria sob este anagrama, esperaria o autor não perder autoria em relação a estes assuntos antes de os poder elaborar mais aprofundadamente no presente texto.

<sup>228</sup> Note-se que se fala de força em si, não de um tipo particular de força.

<sup>229</sup> O autor fala de peso/força e distância.

<sup>230</sup> “Onça, libra ou determinado peso”, mas uma vez, conforme se defende no capítulo 5, o autor fala de força de um modo abrangente.

<sup>231</sup> Hooke pretende apresentar uma Lei da Natureza, portanto, universal, e não voltada para um caso isolado.

<sup>232</sup> Conforme se refere no capítulo 5, o autor fala de “todas as formas de movimento de restituição”, portanto, todos os movimentos causados por forças em que tal se aplique.

<sup>233</sup> Infelizmente não tivemos oportunidade de testar a experiência com uma mola de relógio por não se ter conseguido encontrar mola semelhante à que o autor usou.

assentar<sup>234</sup>, e aponte com tinta como fez anteriormente no lugar do aro da roda para o qual o índice aponta; logo depois, adicione um terceiro dracma e faça como antes, seguindo-se de um quarto, quinto, sexto, sétimo, oitavo, etc, deixando sempre que a roda assente antes de marcar os vários lugares apontados pelo índice. Quanto terminar este procedimento pode examinar as distâncias

Pág. 3

de todas essas marcas, e comparando-as perceberá que todas serão iguais umas às outras, de modo a que se um dracma mover a roda dez graus, dois dracmas irão movê-la vinte; três dracmas, trinta; quatro quarenta; cinco cinquenta e assim por diante.

Ou então pegue num arame de vinte, trinta, ou quarenta pés de comprimento e prenda a parte superior a um prego, prendendo a outra extremidade a uma balança onde colocará os pesos: de seguida, com um par de compassos meça a distância da parte inferior da balança ao solo ou a um chão abaixo e aponte a distância; depois coloque os pesos na referida balança da mesma maneira que nas tentativas anteriores, meça os vários comprimentos que o referido fio atinge e aponte-os. Em seguida, compare os vários comprimentos da corda. Concluirá que a relação entre eles é proporcional à relação entre os pesos que os originaram.<sup>235</sup>

O mesmo concluirá se for feita a experiência com um pedaço de madeira seca flexível que encolha e estique tendo uma das pontas fixa em posição horizontal e a outra ponta livre para pendurar pesos, fazendo com que a madeira encolha em direção ao solo.

Pode também fazer-se a mesma experiência com um corpo de ar, seja para a rarefação ou para a compressão do mesmo, experiência esta que fiz há cerca de quatorze anos quando publiquei a minha *Micrographia* e que, portanto, não requer nenhuma descrição adicional.

Cada uma das experiências mencionadas será mais claramente compreendida através das explicações feitas nas figuras em anexo<sup>236</sup>.

A primeira experiência será representada como sendo **A B** a hélice de arame; **C** a extremidade dele que está suspensa; **D** a outra extremidade, da qual uma pequena balança representada por **E** é pendurada e na qual se vão colocando pesos, aqui representados como **F, G, H, I, K, L, M, N**, individualmente e separadamente, sendo proporcionais a uma força equivalente à ordem de cada letra, representada por, **1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8**. A mola será assim igualmente esticada até, **o, p, q, r, s, t, u, w**, ocorrendo o seguinte

---

<sup>234</sup> Esta é a parte mais delicada da experiência, pois observamos ser desafiante fazer cessar o movimento da mola completamente.

<sup>235</sup> Esta foi a conclusão obtida na experiência replicada no capítulo 5.

<sup>236</sup> Na página 34 do presente estudo encontra-se a ilustração de Robert Hooke que representa a mola elaborada pelo autor e respetivos detalhes.

se **F** se esticar de forma a que a parte inferior da escala desça para **o**, então **G** fará com que desça para **p**, **H** para **q**, **I** para **r**, **K** para **s**, **L** para **t**, **M** para **u** e **N** para **w**, etc. De modo a que **x o** deve ser um espaço, **x p**, 2 espaços, **x q**, **3**, **x r**, **4**, **x s**, **5**, **x t**, **6**, **x u**, **7**, **x w**, **8**.

A segunda figura representa uma mola de relógio enrolada em espiral por **C A B B B D**, cuja extremidade **C** é fixada a um alfinete ou eixo imóvel, em cuja extremidade está inserido o eixo de uma pequena roda leve, sobre a qual se move; a extremidade **D** é fixada a um alfinete no aro da roda, que será **y y y**, sobre a qual é colocada uma pequena seda, no final da qual é fixa uma balança onde se colocará os pesos. À estrutura em que estes estão contidos é fixada a mão ou índice **z**; então, experimentando com os pesos anteriores colocados na balança **E**, perceberá que se colocar **F** na balança **E** afunda a parte inferior dela, de **x** para **o**, então **G** irá afundá-la para **p**, e **H** para **q**, **I** para **r**, **K** para **s**, **L** para **t**, e **z** apontará para os números **1,2,3,4,5,6,7,8** identificados na roda.

Já as experiências feitas com um arame reto, ou com um pedaço de madeira reto colocado em arco horizontal, são tão claras que não precisam de uma explicação figurada, e as experiências com um corpo de ar<sup>237</sup>, foram já apresentadas na minha *Micrographia* com representação figurada.<sup>238</sup>

Tendo em conta tudo isto, é bastante evidente que a *regra* ou *Lei da Natureza*<sup>239</sup> de um corpo flexível, é que a força ou ímpeto que permite o corpo voltar à sua posição natural é sempre proporcional à distância ou ao espaço que o afasta dela, seja por rarefação, ou separação de suas partes umas das outras, ou por uma condensação, ou por aglomeração dessas partes mais próximas<sup>240</sup>. Não é apenas observável nestes corpos, mas em todos os outros corpos sob tensão<sup>241</sup>, sejam de metal, madeira, pedra, terracota, cabelo, buzinas, seda, ossos, tendões, vidros, ou outros materiais, respeitando as particularidades dos corpos e as formas vantajosas ou desvantajosas de manipulá-los.<sup>242</sup>

A partir deste princípio será fácil calcular as diversas resistências dos arcos, longos ou cruzados, sejam eles feitos de madeira, aço, chifres, tendões ou de outros materiais semelhantes<sup>243</sup>. Tal como era usado pelos Antigos o *balisto* ou *catapult*<sup>244</sup>, para os quais se fixaram tabelas de medição, eu mostrarei brevemente uma maneira

<sup>237</sup> As experiências com líquidos em vasos muito finos mencionadas no capítulo 2.

<sup>238</sup> Esta representação pode ser encontrada na observação “VI. Of Small Glass Canes”, seguida de “An Attempt for the Explication of this Experiment”, pp.11-12

<sup>239</sup> Como se pode observar, Hooke fala de “Regra” ou “Lei” da Natureza, conforme é referido no capítulo 5.

<sup>240</sup> Hooke encontra aqui uma relação entre força e distância/movimento percorrido.

<sup>241</sup> Destaque para a abrangência da Lei de Hooke. Tal como foi dito no capítulo 5, o autor não estava a pensar em “corpos elásticos”, no sentido literal da palavra.

<sup>242</sup> Semelhança com a passagem de Newton mencionada no capítulo 7.

<sup>243</sup> Esta lei tem aplicação prática.

<sup>244</sup> Antiga máquina de guerra que arremessava projéteis.

de calcular a força destes instrumentos no lançamento<sup>245</sup> de flechas, projéteis, pedras, granadas, ou outros materiais semelhantes.

A partir desses princípios também será fácil calcular a resistência<sup>246</sup> proporcional da mola de um relógio sobre o caracol do mesmo e, conseqüentemente, ajustá-lo à mola de modo a fazê-la puxar ou mover o relógio sempre com uma força igual.<sup>247</sup>

Da mesma forma também será fácil explicar o movimento isócrono<sup>248</sup> de uma mola, ou de uma mola em extensão, tal como a razão para o som uniforme produzido por molas cujas vibrações são rápidas o suficiente para produzir um som audível<sup>249</sup>; é fácil também explicar o porquê dos sons e das suas vibrações em todos os tipos de corpos sonoros ou elásticos, destes falaremos mais noutra ocasião.<sup>250</sup>

A partir disto surge o motivo, que apresentarei aos poucos, que explica porque é que uma mola aplicada ao equilíbrio de um relógio faz com que as vibrações do mesmo sejam iguais, quer sejam maiores ou menores. Explicação esta que já tive a oportunidade de mostrar ao Honrado Lorde Viscount Brouncker<sup>251</sup>, ao Honrado Robert Boyle<sup>252</sup> e ao *Sir Robert Morey*<sup>253</sup> no ano de 1660 com o objetivo de obter a patente de tal descoberta.

A partir disso será fácil fazer uma escala filosófica<sup>254</sup> para examinar o peso de qualquer corpo sem adicionar pesos, que foi o que mencionei no final da minha descrição dos Helioscópios, cuja base foi velada sob este anagrama, *c e d i i n n o o p s s t t u u*, a saber, *Ut pondus sic tensio*<sup>255</sup>, cujo conteúdo se pode observar nas primeiras três experiências.

Esta escala foi elaborada de modo a que pudesse examinar a gravitação dos corpos em relação ao centro da Terra<sup>256</sup>, ou seja,

Pág. 6

para poder determinar se os corpos mais distantes do centro da terra perdem um pouco da sua força de atração tendo em conta a distância. Deste modo, propus-me fazer algumas experiências que pudessem testar este fenómeno no topo da montanha do Tenerife. Fiz a mesma experiência no topo da torre de St. Paul, antes do grande incêndio; repeti-a também no alto da Abadia de St. Peter em Westminster. Contudo, por estes lugares se situarem a pequenas distâncias da superfície, não fui capaz de

---

<sup>245</sup> Note-se que a partir desta lei pode-se calcular a força no lançamento de projéteis.

<sup>246</sup> Hooke também já está a ter em conta a “resistência”.

<sup>247</sup> Exemplo de aplicação da Lei de Hooke na mecânica.

<sup>248</sup> Hooke introduz aqui a noção de “Movimento isócrono”.

<sup>249</sup> O movimento harmónico simples.

<sup>250</sup> A relação entre a teoria vibratória da matéria e o próprio som, um pouco explorada por Penelope Gouck conforme se refere no capítulo 1, é um tema sujeito a investigação mais detalhada.

<sup>251</sup> Matemático e primeiro presidente da Royal Society. Ver: SCOTT, J.F; HARTLEY, Harold (1960), “William, Viscount Brouncker, P.R.S (1620-1684)” in *Notes and Records*, vol. 15, pp. 147-157

<sup>252</sup> Conforme referido no primeiro capítulo, Robert Hooke iniciou-se no círculo da ciência britânica como assistente de Boyle. De acordo com Lisa Jardine e Ellen Drake, Hooke terá sido próximo de Boyle durante toda a sua vida.

<sup>253</sup> Soldado, filósofo natural e conselheiro de Reis. Ver: MARTIN, D.C (1960), “Sir Robert Moray, F.R.S (1608?-1673)” in *Notes and Records*, vol. 15:1

<sup>254</sup> Poderia equivaler a criar um conjunto de valores tabelados, conforme temos hoje.

<sup>255</sup> HOOKE, Robert (1676), *A description of Helioscopes, And some other instruments*, Londres: Jo. Martyn, tipógrafo da Royal Society, pp. 31-32

<sup>256</sup> Conforme se defende no capítulo 5, a Lei de Hooke foi criada com o propósito de medir a força da gravitação.

observar qualquer diferença clara. Propus que o mesmo fosse feito no fundo de algumas estações mineiras e o Dr. Power chegou a fazer algumas experiências nesse sentido, no entanto, como os instrumentos que possuía não eram de boa qualidade, nada pôde ser concluído a partir dos seus dados.<sup>257</sup>

Estes são os fenómenos que ocorrem em molas e em corpos flexíveis, que não tinham sido, até aqui, reduzidos a leis por ninguém. Todas as tentativas para as explicações da causa da sua força e da flexibilidade em geral, tinham sido insuficientes.<sup>258</sup>

No ano de 1660 imprimi um pequeno tratado a que chamei, *Uma tentativa de explicação dos fenómenos, da subida da água nos poros de canos muito finos*.<sup>259</sup> Não estando disposto a publicar a teoria que agora exponho, supondo que a publicação nessa altura pudesse ser prejudicial ao meu projeto de construção de relógios, para o qual eu procurava uma patente, apenas sugeri o princípio que supus ser a causa desses fenómenos (na página 31 da edição em inglês; e na página 38 da edição em latim, traduzida por M. Behem e impressa em Amesterdão em 1662) referindo que uma explicação mais detalhada seria dada noutra altura.<sup>260</sup> Nomeei os princípios que apresentei nessa época de *congruência* e *incongruência* dos corpos. Na altura prometi uma explicação mais aprofundada.<sup>261</sup> Vou então aqui explicar em que consistem estes fenómenos.

Pág.7

Por *congruência* e *incongruência* considero então uma concordância ou discordância dos corpos quanto às suas magnitudes e movimentos.

Considero congruentes os corpos cujas partículas tenham a mesma magnitude e o mesmo grau de velocidade, ou então, uma proporção harmónica de magnitude e um grau harmónico de velocidade. Por outro lado, classifico de incongruentes aqueles que não têm nem a mesma magnitude, nem o mesmo grau de velocidade, nem uma proporção harmónica de magnitude nem de velocidade.

Suponho então que o universo sensível consiste em corpo e movimento.

Por corpo quero dizer algo recetivo e comunicativo de movimento ou progressão. Nem extensão nem quantidade; dureza nem maciez; fluidez nem fixidez; rarefação nem densidade, são propriedades do corpo, mas antes do movimento ou de algo que se move.

Por movimento considero um poder ou tendência progressiva do corpo de acordo com vários graus de velocidade.

---

<sup>257</sup> Como foi sendo referido ao longo desta dissertação, Hooke fez várias tentativas de análise da força da gravitação.

<sup>258</sup> Destaque para a originalidade do trabalho apresentado.

<sup>259</sup> Não conseguimos ter acesso a este texto, sendo, contudo, importante ter em conta para investigações futuras.

<sup>260</sup> Esta passagem remete para a disputa entre Hooke e Huygens, sendo motivo de uma análise isolada. Cf. MELI, Domenico Bertoloni (2006), *Thinking With Objects – The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century*, EUA: The Johns Hopkins University Press, p. 242: “In the 1670s he [Hooke] engaged in a major priority dispute with Huygens over the invention of the spring-regulated watch. Much as Huygens did with the pendulum clock, Hooke devised an elaborate instrument from a simple object whose mathematical properties he could investigate. Despite his considerable manual and technical skills, Hooke relied on the help of technicians, especially the London instrument maker Thomas Tompion. Unlike Huygens, Hooke did not write a *magnum opus* but published his findings in articles and short treatises.”

<sup>261</sup> De acordo com o que se refere no capítulo 2.

Estes dois, corpo e movimento, contrabalançam-se em todos os efeitos, aparências e operações da natureza e, portanto, não é impossível que eles sejam um e o mesmo; pois um pequeno corpo com grande movimento é equivalente a um grande corpo com pouco movimento quanto a todos os seus efeitos sensíveis observáveis na natureza.

Suponho, além disto, que todas as coisas no universo perceptíveis aos nossos sentidos são compostas por esses dois (que por ora suporemos essências distintas, embora possivelmente possam, como veremos a seguir, ser vistas como apenas concepções diferentes de uma única e mesma essência), ou seja, corpo e movimento. Considero ainda que não existe uma partícula sensível de matéria, mas que esta adquire a sua extensão perceptível através do movimento, independentemente do tipo de movimento que adquire.<sup>262</sup>

Pág.8

O corpo é algo que preenche perfeitamente uma determinada quantidade de espaço ou de extensão, de modo a excluir necessariamente todos os outros corpos de serem compreendidos nas mesmas dimensões.

Portanto, defino um corpo sensível como sendo um determinado espaço ou extensão que não o impede de ser penetrado por outro, através de uma força que vem de dentro.<sup>263</sup>

Para tornar isto mais claro<sup>264</sup>, imaginemos uma placa de ferro muito fina, ou qualquer objeto semelhante, de um pé quadrado, mexendo-se num movimento vibratório para a frente e para trás ao longo do comprimento de um pé, com um movimento tão rápido que não permita a qualquer outro corpo entrar no espaço dentro do qual a placa vibra. Isto irá compor uma essência a que chamo de pé cúbico de corpo sensível, que difere da noção comum de corpo como algo inteiramente sólido, visto que este espaço de um pé cúbico é ocupado pela vibração causada por um pé cúbico de ferro, ou algo semelhante. Considero, portanto, que as partículas que compõem todos os corpos devem a maior parte da sua extensão sensível ou potencial a um movimento vibratório.<sup>265</sup>

Não creio que este movimento vibratório seja inerente ou inseparável das partículas do corpo, creio que é antes comunicado por impulsos que vêm de outros corpos do universo. Suponho também que a magnitude ou volume do corpo o torna recetivo a este ou aquele movimento que lhe é comunicado em específico e não a qualquer outro. Ou seja, todas as partículas de matéria, dependendo da sua magnitude específica ou atual, são recetíveis a este ou aquele movimento em particular e a mais nenhum, de modo a que a magnitude e a recetividade do movimento parecem uma e a mesma coisa.

Para explicar tudo isto através de um exemplo, imaginemos um certo número de cordas musicais como **A, B, C, D, E**, que estão afinadas para determinados tons,

---

<sup>262</sup> Estas passagens são referidas no capítulo 5.

<sup>263</sup> Refere-se à força da gravidade.

<sup>264</sup> É recorrente Hooke exemplificar as suas ideias ou conclusões com exemplos que possam ser reconhecidos pelo público/leitor.

<sup>265</sup> Fica por perceber se Hooke considera o éter/*menstruum* como constituído por partículas e se, assim sendo, o éter/*menstruum* tem também uma natureza vibratória.

e imaginemos um número semelhante de outras cordas, como **a, b, c, d, e**, que estão afinadas para os mesmos sons respetivamente: **A** deve ser recetivo ao movimento de **a**, mas não ao **b, c** ou **d**; da mesma forma, **B** deve ser recetivo ao movimento de **b**, mas não ao movimento de

Pág.9

de **a, c** ou **d**, e assim sucessivamente. Isto é aquilo a que eu chamo *congruência* e *incongruência*.

Agora, assumindo que as cordas musicais são ordenadas por uníssonos e oitavas (assim como por outros acordes harmoniosos embora não no mesmo grau) da mesma forma, suponho que as partículas da matéria se movem, sobretudo, através de movimentos que chamarei de uníssonos, ou, a uma velocidade equilibrada com o seu movimento, e por outros movimentos harmoniosos em menor grau.

Considero ainda que há uma matéria subtil que envolve e permeia todos os outros corpos. Esta matéria é o *menstruum* no qual eles nadam e é ela que mantém todos esses corpos no seu movimento contínuo, acabando por ser o meio de transmissão<sup>266</sup> de todos os movimentos homogêneos ou harmónicos de corpo para corpo.

Além disso, suponho ainda que todas as partículas de matéria que são de natureza semelhante, quando não separadas por outras partículas de natureza diferente, permanecerão juntas e fortalecerão a vibração comum de todas elas contra as diferentes vibrações dos corpos.

De acordo com esta noção, suponho que todo o universo e que todas as suas partículas estão em movimento contínuo,<sup>267</sup> e que cada corpo ocupa um espaço particular no universo de acordo com a massa do seu corpo, ou de acordo com a potência particular que tem de receber para continuar este ou aquele movimento peculiar.<sup>268</sup>

Quando duas ou mais dessas partículas se juntam, aglutinam-se numa só. Transformando assim a sua natureza, passam a estar recetivas a outro grau de movimento e de vibração. Formam assim uma partícula composta de natureza diferente de cada uma das partículas individuais iniciais.

Suponho que todos os corpos volumosos e sensíveis são feitos, ou compostos, de partículas que têm os seus movimentos peculiares e apropriados a si, mantendo-se juntos através das vibrações dissonantes dos corpos ou fluídos do ambiente.<sup>269</sup>

---

<sup>266</sup> Retomando a nota anterior, sendo o *menstruum* “meio de transmissão” então ele partilha de uma natureza vibratória. Estando esta hipótese correta, Hooke desconsidera a existência de vazio sendo tudo composto por partículas que estão em constante movimento.

<sup>267</sup> Fica claro que o autor considera que tudo está em movimento, não fica claro se o *mestruum* está aqui incluído.

<sup>268</sup> Esta relação entre o corpo e o espaço particular, pode sugerir que Hooke consideraria que o corpo recebe agência do espaço que ocupa e que sem espaço não há corpo.

<sup>269</sup> Esta explicação de como as partículas se transformam, evidencia o carácter filosófico de Hooke – ele não só procurava uma explicação experimental e matemática para as suas ideias, como também pretendia fundamentá-las com uma teoria.

Talvez por causa da diferença dos movimentos vibratórios das massas envolventes, todos os corpos tenham a força em si para preservar as suas formas peculiares.<sup>270</sup>

Todos os corpos próximos à Terra são envolvidos por uma matéria subtil líquida.<sup>271</sup> As partes desta matéria têm uma velocidade variante que faz com que todos os corpos sólidos mantenham as formas particulares com que ficaram no seu último estado fluído. Todos os corpos fluídos estão misturados com esta matéria líquida, que não se separa deles até tomarem uma forma sólida.

A massa dos corpos em forma líquida difere da massa dos corpos sólidos no seguinte aspeto: todos os fluídos consistem em dois conjuntos de partículas, um deles é o *menstruum* que está próximo à terra e que se intercala entre as partículas vibratórias apropriadas a essa massa e desse modo participa dos movimentos e vibrações da mesma; o outro conjunto separa-se do todo e, portanto, não toma parte desse movimento.

Embora as partículas dos corpos sólidos impeçam, através dos seus movimentos vibratórios, o fluído *menstruum* de ficar entre eles no local onde os seus movimentos se tocam, existem certos espaços entre eles que o movimento das partículas não protege de serem impregnados pelo fluído heterogéneo do *menstruum*. A estes espaços, que são defendidos pelos corpos e pelo movimento vibratório das partículas e que conseqüentemente são penetrados pelo fluído heterogéneo subtil que os envolve a que damos o nome de poros insensíveis dos corpos.<sup>272</sup>

Os movimentos ocorrem em proporção à grandeza dos corpos, ou seja: quanto maior ou mais poderoso é o corpo, mais lento é o movimento com o qual compõe as partículas; e quanto menor o corpo for, mais rápido é o seu movimento.<sup>273</sup> Quanto menores são as partículas dos corpos, mais próximas estão da natureza do fluído geral, e

mais facilmente se misturam e participam do seu movimento.

As partículas de todos os corpos sólidos tocam-se imediatamente; isto é, os movimentos vibratórios dos corpos fazem com que cada um se toque a cada vibração.<sup>274</sup> Explicando melhor, imaginemos que **A**, **B**, **C** representam três corpos, supúnhamos que cada um desses corpos tem um movimento vibratório em cada um dos lados **A** entre **D** e **E**, **B** entre **E** e **F**, e **C** entre **F** e **G**. Suponho então que, em cada uma das suas vibrações, **B** encontra **A** em **E**, e **C** em **F** e, portanto, os movimentos

<sup>270</sup> Esta afirmação sugere que cada corpo tem uma força em si que o permite ser uno e não se desmembrar.

<sup>271</sup> Assume-se que a “matéria subtil líquida” é o *menstruum*.

<sup>272</sup> Toda esta explicação de como os corpos interagem é bastante metafísica. A explicação não está a ser verificada, mas tem uma certa beleza.

<sup>273</sup> Esta relação entre a massa e o movimento do corpo está relacionada com a força da gravidade.

<sup>274</sup> Esta análise deixa entrever que, na perspetiva de Hooke, tudo está em constante relação na natureza.

dos corpos estão em trocas constantes. Ou seja, **B** comunica seu movimento para **A** em **E**, e, ao mesmo tempo e no mesmo lugar, **A** comunica o seu movimento para **B**, que voltando para **F** encontra lá **C**, e comunica o movimento recebido para **C**, que no mesmo instante e local comunica o seu próprio movimento a **B**, que o devolve a **E**, de modo que a velocidade desses corpos é sempre a mesma, e cada corpo imprime nos corpos contínuos um determinado número de pulsos dentro de um certo espaço de tempo. Supúnhamos, por exemplo, que em cada segundo de tempo **B** comunique um milhão de pulsos a **A** e **C**, e que tenha recebido o mesmo número de pulsos de cada um deles, permitindo assim que cada um deles preserve o seu próprio espaço de vibração, de acordo com a potência da sua vibração, e fazendo com que nenhum dos corpos contíguos possa penetrar nessa vibração. As partículas extremas **A** e **C** repercutem-se pelo movimento fluído heterogéneo do meio onde se encontram, dos quais, embora os corpos sejam de magnitudes diferentes, o corpo e o movimento de um são equivalentes ao corpo e ao movimento do outro, de modo que onde o corpo for mais pequeno, o movimento é mais rápido; e onde o corpo for maior, o movimento é menor. No entanto as partículas dos corpos fluídos

Pág.12

não se tocam, mas permitem a mistura de outro fluído heterogéneo próximo à terra, que serve para comunicar o movimento de partícula em partícula sem o contacto imediato das vibrações das partículas.<sup>275</sup>

Todos os corpos sólidos retêm a sua solidez até que por outros movimentos extraordinários os seus movimentos naturais ou próprios se misturem com outros movimentos diferentes, levando a que se transformem numa massa de movimentos compostos, que enfraquecem os movimentos vibratórios uns dos outros. De modo que embora as partes semelhantes participem dos movimentos umas das outras, no meio dos quais elas se esforçam por se juntarem ou por se manterem juntas, elas também participam de um movimento heterogéneo que se esforça para as manter separadas. E de acordo com a prevalência de uma ou de outra força, o corpo é mais ou menos fluído ou sólido.

Todos os corpos, quaisquer que sejam, seriam fluídos se não existisse o movimento heterogéneo externo do ambiente.<sup>276</sup>

E todos os corpos fluídos, quaisquer que sejam, seriam ilimitados e teriam as suas partes afastadas umas das outras, se não fosse a existência de um movimento heterogéneo prevalecente fora deles que os une com mais força.<sup>277</sup>

Os movimentos heterogéneos quem vêm de fora são propagados no interior do sólido numa linha direta se o atingirem perpendicularmente à sua superfície ou aos seus limites, mas se o atingirem de forma oblíqua e indireta, em movimentos diferenciados e desviados, propagam-se de acordo com a inclinação particular do corpo que atingem e de acordo com a proporção das partículas que estão a ser atingidas.

---

<sup>275</sup> Esta análise também nos deixa pressupor que Hooke consideraria que toda a ação interfere com o meio.

<sup>276</sup> Esta afirmação pode ser extrapolação por parte do autor.

<sup>277</sup> Hooke refere-se à gravitação, envoltio, contudo, numa explicação metafísica.

Todos os corpos flexíveis consistem em partes assim qualificadas, isto é, pequenos corpos dotados de movimentos apropriados e específicos onde cada uma dessas partículas tem um volume, extensão ou esfera de atividade particular que se defende da entrada de qualquer outro corpo heterogéneo

Pág.13

no seu estado natural e de equilíbrio no Universo<sup>278</sup>. As partículas que tenham a mesma natureza, ou seja, com composições e movimentos iguais e que prontamente se aglutinam e unem para formar um corpo sólido, não são em si perfeitamente contíguas e unas: elas excluem o ambiente fluído que envolve o corpo, mencionado anteriormente, mas permitem que este fluído penetre o corpo em muitos lugares de forma consistente, embora não ao ponto de impedirem inteiramente que esse fluído se movimente entre as diferentes partículas que compõem o corpo sólido.

As partes de todos os corpos flexíveis recuariam e afastar-se-iam umas das outras se não fossem mantidas juntas pelos movimentos de compressão heterogéneos do ambiente<sup>279</sup>, seja ele fluído ou sólido.

Tendo apresentado estes princípios, passarei então a explicar a maneira como eles permitem compreender os fenómenos dos corpos flexíveis, sejam estes sólidos ou fluídos.<sup>280</sup>

Primeiro, para corpos sólidos, como aço, vidro, madeira, que possuem uma força de restituição, que estica e encolhe conforme são comprimidos ou dilatados além do seu estado natural.

Estipule **AB** como a representação de uma linha de um corpo composto de oito partículas vibratórias, que serão **1,2,3,4,5,6,7,8**, e suponha que cada uma dessas partículas executa no tempo de um segundo um milhão de vibrações simples e consequentemente, um milhão de colisões com as restantes partículas

Pág. 14

e que a velocidade do seu movimento é criada pelo ambiente nas duas partículas das extremidades, **1** e **8**. Primeiro, se por uma qualquer força externa aplicada aos dois extremos **1** e **8**, estes se afastem mais um do outro como em **CD**, então todas as partículas vibratórias deverão estender-se proporcionalmente, e o número de vibrações e, consequentemente, de colisões, diminui na mesma medida e, consequentemente, o seu esforço para se afastarem umas das outras irá também diminuir reciprocamente.

Supondo que este segundo comprimento esteja para o primeiro como **3** está para **2**, o comprimento das vibrações e, consequentemente, das colisões, reduzirá proporcionalmente. Enquanto que supus anteriormente que ocorreriam 1000000 vibrações num segundo, aqui poderão ocorrer apenas 666666 vibrações.

---

<sup>278</sup> Esta afirmação pressupõe que a *congruência* e a *incongruência*, estando a estes conceitos associada a força a gravidade, é a base para manter o equilíbrio do universo.

<sup>279</sup> Que o autor pressupõe causados pela força da gravitação.

<sup>280</sup> A sua teoria serve, conforme foi defendido no capítulo 5, para corpos sólidos ou fluídos – para corpos de um modo abrangente.

Consequentemente, a elasticidade deve ser proporcional à extensão do seu comprimento natural.

Em segundo lugar, se as partículas extremas forem comprimidas uma terceira parte por qualquer força externa (sendo essa força natural externa sempre a mesma tanto neste caso como no anterior, que é o equilíbrio para ela no seu estado natural) o comprimento das vibrações será proporcionalmente diminuído, tal como o número delas e, consequentemente, o número de colisões reciprocamente, e em vez de 1000000, haverá 1500000).

Pág. 15

Tendo assim explicado a forma mais simples de elasticidade nos corpos sólidos, será muito fácil explicar a forma composta de elasticidade, isto é, por flexão. Supondo que apenas duas dessas linhas se juntam, como em **GHIK**, as quais são dobradas por qualquer força externa para tomarem a forma **LN NO**, **LM** será estendida e **NO** será diminuída em proporção à flexão e, consequentemente, as mesmas proporções e regras serão aplicáveis ao seu esforço de restauração.

Em seguida, discutimos os corpos fluídos, entre os quais o maior exemplo que temos é o ar, embora o mesmo ocorra em alguma proporção em todos os outros corpos fluidos.

O ar é então um corpo constituído de partículas tão pequenas que são quase iguais às partículas do meio fluído heterogéneo que circunda a terra.<sup>281</sup> Ele é limitado apenas de um lado, nomeadamente em direção à terra, e estende-se indefinidamente para cima, sendo apenas impedido de voar para longe pela sua própria gravidade (a causa da qual explicarei noutro momento)<sup>282</sup>. Consiste nas mesmas partículas individuais e separadas que compõem a água e outros fluídos combinados e compostos, e sendo feitos de partículas extremamente

Pág.16

pequenas, o seu movimento (para estar em equilíbrio com o resto dos corpos terrestres) é extremamente rápido, e os seus espaços vibratórios são extremamente largos quando comparados com os de outros corpos terrestres.

Suponho que o ar que circunda a Terra, no seu estado natural, pode ser 8000 vezes maior do que o que circunda o aço, e acima de mil vezes maior do que o que envolve a água comum, e suponho que proporcionalmente o seu movimento deve ser oito mil vezes mais rápido do que o primeiro, e mil vezes mais rápido do que o último. Se, portanto, uma quantidade deste corpo for rodeada por um corpo sólido, e for comprimida de modo a ocupar menos espaço, o movimento do mesmo (supondo que a temperatura se mantém igual) continuará igual e vibrações e colisões aumentarão proporcionalmente. Se, por exemplo, o corpo fluído for condensado em metade do espaço, as vibrações e colisões duplicarão em número e se for comprimido até ocupar um quarto do espaço original, as vibrações e colisões quadruplicarão.

Novamente, se o recipiente que contém o corpo fluído tiver mais espaço, o comprimento das vibrações aumentará proporcionalmente e o número de vibrações

---

<sup>281</sup> Note-se que Hooke considera já que o ar é composto por partículas.

<sup>282</sup> Hooke considera ainda que o próprio ar sofre influência da força da gravidade.

e colisões será reciprocamente diminuído. Isto é, se for permitido estender o corpo para o dobro das suas dimensões anteriores, as suas vibrações serão duas vezes mais longas, e o número das suas vibrações e colisões será menor pela metade e, conseqüentemente, a sua força de atração em relação ao exterior, também será mais fraca pela metade.

Estas explicações servirão, *mutatis mutandis*, para explicar a flexibilidade de qualquer corpo.

Sendo estas as características dos corpos flexíveis, resta agora mostrar como as vibrações de uma mola ou de um corpo movido por uma mola, mantêm a sua duração, sejam elas maiores ou menores.

Pág.17

Eu já mostrei aqui que a força de todas as molas é proporcional ao seu grau de flexão, viz. Um grau de flexão, ou um espaço dobrado, tem uma força, dois têm duas e três têm três, e assim sucessivamente. E cada ponto do espaço de flexão tem uma força particular e, conseqüentemente, havendo pontos infinitos no espaço, devem existir graus infinitos de força.<sup>283</sup>

E, conseqüentemente, todas as forças que começam do nada e terminam no último grau de tensão ou de flexão, somadas ou agregadas estarão em proporção duplicada relativamente ao espaço dobrado ou grau de flexão; ou seja, o agregado das forças da mola guarda a sua postura quiescente em todos os pontos intermediários de um espaço (independentemente do comprimento) e é igual, ou na mesma proporção do quadrado de um (supondo que o referido espaço é infinitamente divisível em frações de um) a dois, é igual ou na mesma proporção ao quadrado de dois, ou seja, quatro; a três é igual ou na mesma proporção ao quadrado de três, ou seja, nove, e assim por diante; e conseqüentemente o agregado do primeiro espaço será um, do segundo espaço será três, do terceiro espaço será cinco, do quarto será sete, e assim por diante em proporção aritmética, sendo os graus ou excessos pelos quais esses agregados se excedem um ao outro.

Portanto, a mola, ao voltar de qualquer grau de flexão, ao qual foi dobrada por qualquer força recebida em todos os pontos do espaço, volta com um impulso igual à força da mola naquele ponto de tensão<sup>284</sup>, e ao voltar recebeu todo o conjunto de forças pertencentes ao maior grau daquela tensão de onde ela voltou; assim, uma mola que seja dobrada em dois espaços, ao voltar recebe quatro graus de impulso, ou seja, três no primeiro espaço de retorno e um no segundo; portanto, dobrando três espaços, recebe no seu retorno nove graus

Pág.18

de impulso, ou seja, cinco no primeiro espaço a onde voltou, três no segundo e um no terceiro.

Assim dobrando dez espaços, a mola recebe no seu retorno ao todo cem graus de impulso, a saber, dezanove no primeiro, dezassete no segundo, quinze no

---

<sup>283</sup> Hooke considera o Universo infinito tendo este ainda “graus infinitos de força”.

<sup>284</sup> Esta afirmação tem relação com a Lei da ação-reação, de Newton, mencionada no capítulo 7.

terceiro, treze no quarto, onze no quinto, nove no sexto, sete no sétimo, cinco no oitavo, três no nono e um no décimo.

Agora, as velocidades comparativas de qualquer corpo movido ocorrem em proporção subduplicada<sup>285</sup> aos agregados ou somas das potências pelas quais ele é movido, logo as velocidades de todos os espaços que retornam estarão sempre nas mesmas proporções com esses espaços, sendo ambas subduplicadas às potências e, conseqüentemente, todos os tempos serão iguais.

Assim sendo, as velocidades das partes do espaço em retorno serão sempre proporcionais às raízes dos agregados das forças impressas em cada um desses espaços; pois na última instância, onde a mola é dobrada dez espaços, a velocidade no final do primeiro espaço retornado será a raiz de 19. No final do segundo, será como a raiz de 36, isto é, de  $19 + 17$ . No final do terceiro, será como a raiz de 51, isto é, de  $19 + 17 + 15$ . No final do quarto, será como a raiz de 64, isto é de  $19 + 17 + 15 + 13$ . No final do décimo, ou inteiro, será como a Raiz de 100, isto é, como  $19 + 17 + 15 + 13 + 11 + 9 + 7 + 5 + 3 + 1$ , igual a 100.

Visto que a velocidade está na mesma proporção com a raiz do espaço, assim como a raiz do espaço está com o tempo, é fácil assim determinar o tempo particular em que passa em cada um desses espaços, uma vez que dividindo os espaços pelas velocidades correspondentes, os quocientes dão-nos os tempos particulares.<sup>286</sup>

Para explicar isto de uma forma mais inteligível, imagine que **A** representa o final de uma mola não dobrada, ou pelo menos

Pág.19

contrapõe essa postura por uma força que está fixa a ela, e com ela móvel, traçada a linha **ABC**, e deixe-a representar a forma como o final da mola deve ser movido por forças adicionais. Desenhe no final dela um **C** e num ângulo reto a linha **Cc**, **Dd**, e deixe **CD** representar a potência suficiente para dobrar ou mover o final da mola **A** para **C**. De seguida, desenhe a linha **DA**, e de qualquer ponto da linha **AC** como **BB** desenhe linhas paralelas a **CD**, cortando a linha **DA** em **E**, **E**. As linhas **BE**, **BE**, representarão as respetivas forças necessárias para dobrar o final da mola **A** a **B**, cujas Linhas **BE**, **BE**, estarão na mesma proporção com o comprimento da dobra da mola **AB**, **AB**, **AC**.

E porque a mola tem em cada ponto da linha, quando dobra **AC**, uma força particular, imaginando linhas traçadas de cada ponto de **AC** paralelo a **CD** até tocarem a linha **AD**, elas irão todas preencher e compor o triângulo **A C D**. O triângulo **ACD** representará então o agregado das potências da mola dobrada de **A** a **C**, e os triângulos menores **ABE**, **ABE** representarão o agregado de todas as potências da mola dobrada de **A** a **B**, **B** e a mola curvada e qualquer ponto da linha **AC**. Se largada, a partir daí, a mola exercerá no seu retorno a **A** todas aquelas forças que serão iguais às respetivas coordenadas **BE**, **BE**, nos triângulos, a soma de todas as que compõem os triângulos **ABE**, **ABE**. Assim, o agregado das potências com as quais ela retorna de qualquer ponto, como desde **C** a qualquer ponto do espaço **CA**,

---

<sup>285</sup> *Sub duplicate* em inglês. Como não temos uma palavra em português que possa expressar esta noção optou-se por adaptar para *subduplicada*.

<sup>286</sup> Note-se que aqui se insere o conceito de velocidade.

a **B B** é igual ao trapézio **CDEB**, **CDEB**, ou aos excessos dos triângulos maiores acima dos menores.

Tendo, portanto, mostrado uma imagem que pretende representar a flexão e as forças, de forma a resolver e a responder claramente a todas as questões e problemas que lhes dizem respeito, a seguir passarei a representar as velocidades apropriadas às várias forças. As velocidades, então, estando sempre em uma proporção subduplicada.

Pág.20

às forças, isto é, como a fonte das forças exercidas, passando as forças exercidas como o trapézio ou o excesso do triângulo ou quadrado de todo o espaço acima do quadrado do espaço ainda não ultrapassado; se no centro **A**, e no espaço **AC**, (**C** sendo o ponto a partir do qual a mola é solta), o círculo será descrito como **CGGF** e as coordenadas extraídas de qualquer ponto de **CA** o espaço passará a partir de **B, B**, até ao referido círculo, como **BG, BG**, estas linhas **BG, BG** representarão a velocidade da mola ao regressar de **C** para **B, B**, sendo que as ditas coordenadas estarão sempre na mesma proporção com a fonte dos trapézios **CDEB, CDEB**, visto que colocar **AC = a**, e **AB = b**, **BG** será sempre igual a  $\sqrt{aa - bb}$ , sendo o quadrado da coordenada sempre igual ao retângulo das partes intercetadas do diâmetro.

Tendo assim encontrado as velocidades, a saber, **BG, BG, AF**, para encontrar os tempos correspondentes, desenhe no diâmetro **AC** uma parábola **CGF** cujo vértice é **C**, e que passa pelo ponto **F**. As coordenadas desta parábola **BH, BH, AF**, estão na mesma proporção com as raízes dos espaços **CB, CB, CA**, passando então de **CB** a **HB** a **IB**, e através dos pontos **CIIF** traçando a curva **CIIF**, as respectivas coordenadas desta curva devem representar o tempo proporcional que a mola gasta em voltar aos espaços **CB, CB, CA**.

Se a rigidez da mola causar uma força maior do que o que eu supus antes e, portanto, for expressa pelo triângulo **C d e A**, então as velocidades serão as coordenadas na elipse como **CN**, maiores do que o círculo, como também acontecerá se a potência for a mesma e o volume movido pela mola for menor. Então, a linha de tempos semelhante a **S** e encontrar-se-á com a linha **AF**, num ponto como **X** dentro do ponto **F**. Mas se as forças da mola forem mais fracas do que o que eu supus, então **C** e **A** representará as forças, e **CO** a velocidade da elipse,

Pág.21

cujas coordenadas **BB, AO** darão as velocidades particulares, e a linha de tempo semelhante a **S** estender-se-á para além de **N**. O mesmo acontecerá se o corpo (movido pela mola) for proporcionalmente pesado, e a força da mola for a mesma que a da primeira.

E supondo que a força da mola seja a mesma da primeira, dobrada apenas para **B 2**, a partir daí solta, **B 2 EA** é o triângulo das suas forças, as coordenadas do círculo **B g L** são as linhas da sua velocidade, e as coordenadas da linha semelhante a **S B i F** são as linhas do tempo.

Tendo assim mostrado como a velocidade de uma mola pode ser calculada, será fácil agora calcular a que distância ela poderá atirar ou arremessar qualquer

corpo que seja movido por ela. Isto deve ser feito comparando a velocidade de subida de um corpo arremessado, com a velocidade de descida da gravidade, levando-se em conta também a resistência e a inércia do meio por onde ele passa.<sup>287</sup>

Por exemplo, imagine um arco ou uma mola fixada 5 metros acima de um piso horizontal, que está próximo do espaço em que um corpo pesado em repouso descera perpendicularmente num segundo de tempo. Se uma mola largar o corpo na linha horizontal<sup>288</sup> com uma velocidade que o move 16 pés num segundo de tempo, então ela deve cair a 16 pés do ponto perpendicular no chão sobre o qual foi arremessado a essa velocidade. O seu movimento deve descrever no ar, ou no espaço por onde passa, uma parábola. Se a mola for dobrada o dobro da tensão anterior, de modo a arremessar o corpo com o dobro da velocidade em linha horizontal, ou seja, com uma velocidade que se move 32 pés por segundo, então o corpo deverá tocar o chão num ponto muito perto a 32 pés do referido ponto perpendicular, e da linha do movimento do corpo, então o lance deve ser movido na parábola, ou numa linha muito perto dela. Digo muito perto dela, porque a resistência

Pág.22

do meio<sup>289</sup> impede a sua exatidão. Se for atirada com o triplo, quádruplo, quádruplo, quádruplo, quádruplo da primeira velocidade, a mola deverá tocar no solo quase no triplo, quádruplo, quádruplo, quádruplo, da primeira distância. Não precisarei de explicar por que se move numa parábola; isso já foi suficientemente demonstrado por muitos outros.<sup>290</sup>

Se o corpo for lançado pela mola no chão, mas disparado num dado ângulo para cima, sabendo a velocidade com que o mesmo se move, e com que inclinação relativamente perpendicular, o mesmo é direcionado, bem como a verdadeira velocidade de um corpo em queda, será fácil saber o comprimento do *factus* ou lançamento e o tempo que demorará a passar por esse comprimento. Isto pode ser deduzido comparando o tempo da subida com o tempo de descida dos corpos pesados. A velocidade de subida de qualquer corpo é facilmente conhecida comparando a sua velocidade com o ângulo de inclinação.

Então deixe que **a b** na quinta figura represente 16 pés, ou seja, o espaço que um corpo pesado desce num segundo minuto de tempo. Se um corpo for disparado de **b**, na linha **b f** com uma velocidade mais rápida do que de 16 pés por segundo, como esta linha **b f** é mais longa do que **a b**, o corpo cairá em **e**; pois no mesmo espaço de tempo em que o movimento igual oblíquo o faria subir de **bd** para **ac**, o movimento direto acelerado para baixo movê-lo-á de **ac** para **bd** e, portanto, no fim do espaço de um segundo, quando os movimentos se balançam reciprocamente, o corpo deve estar na mesma linha horizontal em que estava no princípio, mas esticado ao longo espaço **bc**. Este método determinará os pontos por que passou em todos os espaços intermédios.

---

<sup>287</sup> Note-se que aqui Hooke já está a colocar vários fatores em análise: velocidade; distância; movimento forçado (arremesso); resistência e inércia.

<sup>288</sup> A sua análise vale para movimentos na vertical e horizontal.

<sup>289</sup> Esta “resistência” é já ter em consideração o fator *atríto*.

<sup>290</sup> Nomeadamente, Galileu.

Deixe então o paralelograma **a b p q** representar toda a velocidade de ascensão de um corpo por um movimento igual de 16 pés por segundo, e o triângulo **p q r** representar toda a velocidade de

Pág. 23

aceleração ao descer, **p b** é então a velocidade com a qual o corpo é atingido, e **p** é o ponto de repouso onde a força da gravidade começa a atuar sobre o corpo, fazendo-o descer. Agora, o desenho de retas paralelas **a q r**, como **s t u s t**, dá a velocidade do ponto **t** ascendente, **e t u a** velocidade do mesmo ponto descendente.

Recapitulando, **p b s t**, significa o espaço de ascensão, **e p t u** o espaço de descida, de modo que subtraindo a descida da subida chega-se à altura acima da linha **b d**. Considerando tal subtração e o progresso igual para frente, chegaremos às velocidades intermediárias e poderemos determinar os pontos da parábola.

Agora, tendo o *factus* estabelecido por este esquema ou escala, adaptado a cada velocidade, onde qualquer corpo é movido nesta ou naquela linha de inclinação, será fácil descobrir qual velocidade a que numa dada inclinação, se deverá lançar o corpo para que este atinja um determinado comprimento pois em qualquer inclinação, o quadrado da velocidade que se encontre representado na escala para qualquer inclinação, está para o quadrado de qualquer outra velocidade como a distância representada na escala está para a distância correspondente a qualquer outra velocidade.

Não tenho tempo agora para me alongar nesta especulação que poderia ocupar um volume. Creio ter deixado informação suficiente para que todas as dificuldades sobre movimentos forçados e recebidos, efeitos resultantes e velocidades possam ser facilmente resolvidas.