

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO

PUC-SP

MACIEL PINHEIRO

**ARGUMENTOS A FAVOR DO PESO DO AR: O EXPERIMENTO
BAROMÉTRICO DE EVANGELISTA TORRICELLI (1608-1647)**

MESTRADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

SÃO PAULO

2014

MACIEL PINHEIRO

**ARGUMENTOS A FAVOR DO PESO DO AR: O EXPERIMENTO
BAROMÉTRICO DE EVANGELISTA TORRICELLI (1608-1647)**

MESTRADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Dissertação apresentada à banca examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em História da Ciência sob a orientação do Prof. Dr. Fumikazu Saito.

SÃO PAULO

2014

BANCA EXAMINADORA

Aos meus pais, José e Maria do Carmo

e

aos meus irmãos e sobrinhos

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sem eliminar e substituir a ação humana, permitiu-me trilhar e viver experiências novas e possíveis à realização desta pesquisa que não terminará aqui, ainda que posteriormente esta encontre espaço somente em minha escrivania.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fumikazu Saito, que com sua exigência, dedicação e disponibilidade, ajudou-me muito, contribuindo para o meu crescimento intelectual e aprimoramento de um espírito de pesquisa séria e profunda.

Aos meus pais, José Pinheiro e Maria do Carmo Pinheiro, que sempre me apoiaram e incentivaram a estudar, respeitando sempre alguns questionamentos meus que se opunham aos valores que eles me ensinaram.

Aos meus irmãos e sobrinhos, que com paciência e compreensão, incentivaram-me nas horas árduas da minha pesquisa e compreenderam minhas ausências nos encontros de família.

À Congregação do Santíssimo Redentor, que soube compreender as minhas ausências nas reuniões, responsabilidades da Casa de Filosofia e pela sua generosidade em me ajudar.

Aos meus amigos, que nesse período do meu estudo e pesquisa compreenderam as minhas ausências em momentos especiais.

Aos meus companheiros, que estiveram ao meu lado o tempo todo me animando, ouvindo minhas angústias, dúvidas e medo da pesquisa.

Aos professores do CESIMA, por ter me acolhido, apoiado e incentivado a realizar minha pesquisa no programa de História da Ciência.

Aos meus amigos da PUC-SP, da USP e da UNICAMP que me incentivaram e me apoiaram na realização deste trabalho.

Aos autores com os quais pude entrar em contato com suas ideias e que ampliaram minha visão sob o tema a ser pesquisado.

A CAPES por seu apoio financeiro.

RESUMO

Argumentos a favor do peso do ar: o experimento barométrico de Evangelista Torricelli (1608-1647)

Esta dissertação tem por finalidade abordar alguns argumentos apresentados por Evangelista Torricelli (1608-1647) a favor do peso do ar como causa para explicar os efeitos observados em seu experimento barométrico. Para tanto, analisamos uma carta encaminhada por Torricelli a Michelangelo Ricci (1619-1682) em 11 de junho de 1644 em que o experimento é relatado. A análise nos revelou que para compreender a interpretação dada por Torricelli ao experimento é preciso considerar o contexto intelectual daquela época. O experimento que, à primeira vista parece apenas apontar para a evidência de que era possível produzir vácuo na natureza, visto que o fenômeno poderia ser atribuído ao peso do ar, revela outros aspectos que foram importantes na origem da ciência moderna.

Palavras-chave: experimento; peso do ar; século XVII; Evangelista Torricelli.

ABSTRACT

Arguments in favour of the weight of the air: the barometric experiment of Evangelista Torricelli

The aim of this dissertation is to approach several arguments by Evangelista Torricelli (1608-1647) for the weight of air being the cause that explains the effects observed in his barometric experiment. To this end, we analyse a letter by Torricelli to Michelangelo Ricci (1619-1682) dated the 11th of June of 1644, which reports the experiment. The analysis revealed that, in order to understand Torricelli's interpretation of the experiment, we must take into account the intellectual context of that time. At first sight the experiment seems only to point to the evidence that vacuum can be generated in nature, since the phenomenon can be attributed to the weight of air. However, it reveals other aspects that were very important to the origins of modern science.

Keywords: experiment; weight of the air; XVII century; Evangelista Torricelli.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10	
 CAPÍTULO I: O ALCANCE DE UMA IDEIA		
Evangelista Torricelli: alguns aspectos de sua vida e obra	14	
Um breve contexto histórico	20	
Evangelista Torricelli e o ensaio barométrico	29	
 CAPÍTULO II: MOVIMENTO E EQUILÍBRIO DOS CORPOS		
O ensaio barométrico de Torricelli	39	
 CONSIDERAÇÕES FINAIS		51
 BIBLIOGRAFIA		53

*“Muitos disseram que
o vácuo não pode ocorrer;
outros que pode, mas com
esforço e com repugnância da
natureza; ainda não conheço ninguém
que haja dito que possa ocorrer sem
esforço e sem resistência da natureza”.*

(Ensaio de Torricelli a Michelangelo Ricci, 11 de junho de 1644).

INTRODUÇÃO

Propomos abordar neste trabalho os argumentos apresentados por Evangelista Torricelli (1608-1647) a favor do peso do ar como causa dos fenômenos observados em seu experimento barométrico. Esse ensaio ficou conhecido como experiência de Florença¹ por alguns estudiosos da natureza daquela região da Itália e foi chamado de *expérience d'Italie*², por outros notoriamente franceses.

Embora a pessoa de Torricelli seja muito conhecida pelos acadêmicos, principalmente por sua importância para o estabelecimento do conceito de pressão atmosférica, os livros e os manuais de física associam-no mais ao debate sobre a ideia de vazio do que à do peso do ar. Talvez isso ocorra pelo fato de os filósofos naturais, e mais tarde os físicos, terem encontrado e adotado um caminho sobre a física do vazio que propiciasse maior interesse e progresso científico. Roberto Martins, ao se referir ao experimento barométrico de Torricelli e as discussões envolvidas em torno dele, destaca que:

Há duas linhas principais de investigação que conduzem ao barômetro. Uma é a ideia de que o ar tem peso e produz pressão, e por isso, efeitos físicos anteriormente atribuídos ao 'horror ao vácuo'. A outra é a 'descoberta' de fenômenos em que um espaço aparentemente vazio é de fato produzido e as consequentes investigações sobre sua natureza e causa³.

¹ Egidio Festa. *Toricelli, Pascal y el problema del vacío*, (2009), 13. Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, Santa Cruz de Tenerife (Islas Canarias. España), <http://pt.scribd.com/doc/28610454/Toricelli-Pascal-Y-El-Problema-Del-Vacio-Egidio-Festa-Centre-Alexandre-Koyre-Paris>.

² Fumikazu Saito, "Alguns Aspectos do Empreendimento Experimental de Blaise Pascal" (dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade de São Paulo, 2002), 14.

³ Martins, Roberto de A. *O Vácuo e a Pressão Atmosférica*, Cad. Hist. Fil. Ci., Campinas, Série 2, vol. 1, nº especial, (jan/dez, 1989), 23-4.

Os estudos subsequentes ao experimento de Torricelli acabaram seguindo essas duas vertentes. Isto teria acontecido com as pesquisas do próprio Pascal que, em suas investigações, primeiro se preocupou em provar a existência do vazio para depois substituir a doutrina do horror ao vácuo pela ideia do peso do ar⁴.

Tendo isso em vista, analisamos uma carta que Torricelli enviou ao seu amigo Michelangelo Ricci (1619-1682). Nessa carta, Torricelli relatou o experimento barométrico realizado em 1643⁵, apresentando suas conclusões a respeito do fenômeno. Buscamos assim analisar os argumentos apresentados por Torricelli em meio às controvérsias sobre a existência e a inexistência do vazio na natureza. Em linhas gerais, podemos dizer que este experimento encerrava duas grandes questões que intrigavam os filósofos naturais, a saber, o que impedia a descida completa do mercúrio e que matéria era aquela que preenchia o espaço abandonado pelo mercúrio⁶.

Entretanto, para responder a essas duas questões, muitos filósofos naturais partiam do princípio de que a causa era interna ao tubo e que a coluna de mercúrio estava suspensa por uma matéria presente naquele espaço vazio. Nesse contexto, diferentemente de seus colegas, Torricelli defendeu a ideia de que a causa era externa ao tubo e que todo o fenômeno era explicável pelo peso do ar.

⁴ Fumikazu Saito, "Alguns Aspectos do Empreendimento Experimental de Blaise Pascal" (dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade de São Paulo, 2002), 23-4.

⁵ Há controvérsia sobre a data da realização do experimento de Torricelli foi; alguns dizem que foi realizado em 1643 e outros que fora realizado 1644. Ver o comentário de rodapé mais adiante.

⁶ Saito, Fumikazu. O Significado da Experiência no Desenvolvimento de Novos Conceitos em Ciências Naturais: uma Abordagem Histórica, in História da Ciência e Ensino: Propostas, Tendências e Construção de Interfaces, M. H. Beltran, F. Saito, R. N. dos Santos e Wagner Wu, São Paulo, Livraria da Física, (2009), 20.

Esta dissertação encontra-se dividida em dois capítulos. No primeiro, apresentamos o contexto no qual o experimento se insere, procurando apontar os fatos, as pessoas e os fenômenos relevantes que teria influenciado Torricelli na elaboração de sua hipótese. Destacamos que Torricelli enviou o ensaio a Michelangelo Ricci para comunicar-lhe sobre os resultados de sua investigação.

No segundo capítulo vamos nos ater ao experimento realizado por Torricelli no qual ele apresenta argumentos para sustentar sua tese. Para tanto, apresentaremos a hipótese de Torricelli e outras ideias fundamentais que foram apresentadas pelo próprio Torricelli e por outros filósofos naturais que no seu modo de pensar, observar e explicar o fenômeno apresentado pelo experimento teve um papel importante no esclarecimento de que os fenômenos observados deveriam ser atribuídos ao peso do ar.

*“Nós vivemos submersos no fundo
de um abismo do elemento ar, o qual, por
experiências indubitáveis, sabe-se que pesa”.*

(Ensaio de Torricelli a Michelangelo Ricci, 11 de junho de 1644)

CAPÍTULO I

O ALCANCE DE UMA IDEIA

Para que possamos entender o ensaio barométrico de Torricelli, faremos neste capítulo algumas considerações sobre o contexto em que o experimento se insere. Para tanto, apresentamos, inicialmente, alguns antecedentes que nos ajudam a entender a problemática instaurada pelo ensaio, bem como alguns aspectos da vida de Torricelli e sua obra.

Evangelista Torricelli (1608-1647): alguns aspectos de sua vida e sua obra

Evangelista Torricelli nasceu em Florença no dia 15 de outubro de 1608 e faleceu na mesma cidade, no dia 25 de outubro de 1647. Ele era o mais velho dos três filhos do casal Gaspare Torricelli e Catarina Torricelli. Seu pai era artesão têxtil de condição financeira modesta. Percebendo o potencial e o talento de seu filho, o senhor Gaspare confiou sua educação as ordens religiosas católicas: monges eremitas, cenobitas e jesuítas, tendo como supervisores os monges Jacopo e Benedito Castelli. Nessas ordens religiosas, Torricelli recebeu formação nas áreas humanística, matemática, filosófica e também religiosa⁷.

⁷ Mario Gliozzi. “Evangelista Torricelli”, in Dicionário de Biografias Científicas, vol. III, São Paulo, Contraponto, 2009, 2492.



Figura 1 – Evangelista Torricelli (1608-1647).

Seus estudos matemáticos foram realizados em diversas instituições jesuítas, antes de estudar com Benedito Castelli. De 1625 a 1626, Torricelli estudou nos colégios jesuítas em Florença, onde aprendeu filosofia e matemática. Com eles, teria adquirido uma base sólida nessas áreas que lhe permitiram depois aprofundá-los⁸.

Segundo Carl Boyer e Uta Merzbach, Torricelli teria se interessado pela cicloide por sugestão de Marin Mersenne (1588-1648) e por meio de Galileu. Mersenne pertencia à Ordem Religiosa dos Mínimos e era um grande estudioso de filosofia natural, mecânica e óptica. Em 1643, ele teria enviado a Mersenne seus estudos sobre a quadratura da cicloide⁹.

Além de sua formação matemática com jesuítas, Torricelli foi influenciado também por vários matemáticos e filósofos naturais. Ele conhecia o pensamento geométrico de Apolônio, Arquimedes e Teodósio. Tinha também estudado algumas obras de Ptolomeu, Brahe, Kepler, Copérnico, Galileu e de outros. Embora tivesse sido influenciado por esses pensadores, Torricelli se apresentava

⁸ Ibid.

⁹ Carl B. Boyer & Uta C. Merzbach, *História da Matemática*. São Paulo, Blucher, 2012, 235.

como matemático e discípulo de Galileu. Dentre as obras de Galileu, ele tinha um grande conhecimento sobre o *Dialogo sobre os Dois Principais Sistemas do Mundo: ptolomaico e copernicano*¹⁰, publicado em 1643; e *Discurso e Demonstrações Matemáticas sobre Duas Novas Ciências*¹¹; publicada em 1638; além de ter cultivado estreita amizade com seu mestre¹².

Em 1632 Torricelli, com 24 anos escreveu sua primeira carta a Galileu. Ele já estava em Roma há seis anos e era aluno de Benedito Castelli, discípulo de Galileu. Nesse período, surgiu a obra *Diálogos sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo*, na qual Galileu se declarou explicitamente copernicano e se manifestava contra a visão geocêntrica proposta pela tradição medieval. Essa obra provocou uma grande polêmica, dada a ousadia de Galileu em se posicionar a favor das novas ideias de Copérnico¹³.

Diante dessas contrariedades provocadas pelas ideias de Galileu, Torricelli pareceu estar a par dos boatos e dos problemas que circulavam nos meios eclesiásticos sobre a obra *Diálogos sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo*. Nesse contexto, ele teria afirmado que tanto o abade Castelli quanto

¹⁰ Nessa obra, Galileu apresentou uma análise crítica da cosmologia aristotélica e rejeitou toda forma que diferenciava os movimentos terrestres e os celestes. Através dela, embora ele demonstrasse o seu respeito a Aristóteles, manifestava o apoio ao sistema copernicano que se opunha ao sistema aristotélico. Galileu, em nessa obra, defendia que tanto os objetos terrestres quanto os celestes possuíam movimentos naturais circulares. Sobre esse assunto vide Edward Grant. *História da Filosofia Natural: do Mundo Antigo ao Século XIX*, (São Paulo, Madras Editora, 2009), 355-7; vide também Thomas Kuhn. *A Revolução Copernicana*, (Lisboa, Portugal, Edições 70, 2002), 260; vide ainda Alexandre Koyré. *Estudos de História do Pensamento Científico*, 3ª ed. (Rio de Janeiro, Florence Universitária), 229-81.

¹¹ Esta obra de Galileu encontrava-se na base das discussões da física moderna no século XVII, não só porque continha e apresentava os elementos do tratamento matemáticos do movimento, mas também porque muitas questões que foram tratadas por ela tornaram acessíveis ao experimento físico ou à análise da matemática. Nela, por exemplo, aparecia uma forma de medir a densidade do ar; o local do experimento e da razão na ciência; natureza do som; velocidade da luz; constituição da matéria e a natureza da matemática. Sobre ela vide Edward Grant. *História da Filosofia Natural: do Mundo Antigo ao Século XIX*, 368-9; vide também Stillman Drake. *Galileo*. Madri, Aliança Editorial, 1986, 956-7; e Alexandre Koyré. *Estudos de História do Pensamento Científico*, 229-281; ou ainda Roberto de Andrade Martins. *O Vácuo e Pressão Atmosférica*, 30-3.

¹² Gliozzi. 2492; vide Ezio Raimondi, I silenzi di Torricelli, in *Torricelli e la Nuova Scienza*. Journal of Galilean Studies, Anno VI, 2009, 8.

¹³ Ezio Raimondi. I Silenzi di Torricelli, in *Torricelli e la Nueva Scienza*. Journal of Galilean Studies, Anno VI, 2009, 8.

outros prelados procuraram sustentar as ideias de Galileu, afirmando a existência de um grupo de prelado na cúpula do Vaticano que defendia as ideias de Galileu com ímpeto¹⁴.

Toricelli percebia que os padres jesuítas Grienberger e Scheiner até admiravam a obra *Diálogo sobre Dois Máximos Sistemas de Mundo*, mas manifestavam opiniões contrárias. Scheiner, por exemplo, observava que essa obra apresentava muitas digressões no texto, ou seja, ele afirmava que, embora Galileu se propusesse abordar um assunto nessa sua obra, ele logo fugia ou desviava-se dele¹⁵.

O prelado Giovanni Ciampoli era amigo íntimo do Papa Urbano VIII e defensor de Galileu. Sendo um simpatizante das ideias de Galileu, Ciampoli persuadiu o Sumo Pontífice a publicar a obra *Diálogos sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo*, como se nela não houvesse elementos perigosos e discutíveis que fossem contra as verdades da fé católica. Porém, após a sua publicação, o Papa Urbano VIII, sentindo-se traído pelo bispo Ciampoli, mandou-o para o exílio¹⁶ para ser governador de várias cidades em Marc e na Úmbria.¹⁷ Segundo Raimondi, o monsenhor Giovanni Ciampoli teria levado consigo para o exílio o jovem Torricelli para ser seu secretário. Nesse período, Torricelli teria vivenciado o que Raimondi classificou de "momento mais traumático" por se opor às diversas perspectivas políticas e culturais¹⁸. Daí alguns historiadores da ciência sustentarem a hipótese de, desde a partida de Ciampoli, em 1632 até 1641, Torricelli ter permanecido no exílio¹⁹

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Ibid.

¹⁶ Ibid. 8-9.

¹⁷ Gliozzi. 2492.

¹⁸ Raimondi. 9.

¹⁹ Gliozzi. 2492.

Embora aparentasse ser muito modesto, Torricelli teria sido um jovem cheio de ousadia e coragem a tal ponto de se declarar matemático por profissão e dizer com orgulho que foi o primeiro a ter estudado na casa de Castelli. Ele declarava que quando estava em Roma havia estudado minuciosamente o livro *Della Misura dell'Acque Correnti*²⁰, publicado em 1628 por seu professor²¹.

Ao se declarar matemático por profissão, Torricelli dizia ter estudado e praticado a “geometria” desde Arquimedes até Kepler. Ele conhecia a geometria de Apolônio, Arquimedes e Teodósio. Embora conhecesse esses pensadores e soubesse da importância deles em sua formação, Torricelli se declarava um exímio seguidor de Galileu de profissão a tal ponto de se sentir tão próximo da maneira de pensar de seu mestre e de se considerar também na fileira daqueles seguia Galileu²².

Torricelli permaneceu em Florença de 1641 até o fim de sua vida. Segundo Gliozzi, esses anos teriam sido para Torricelli um tempo de entrega e intensa atividade científica como pesquisador e mestre acadêmico²³.

Embora ele guardasse suas convicções religiosas recebidas durante sua formação com monges e jesuítas, era alguém com uma mente aguçada para a pesquisa. Durante o período da sua formação em que fora educado pelo seu tio, monge Jacopo; depois no colégio dos jesuítas e em seguida pelo também monge Benedito Castelli, ele teria sido tremendamente influenciado tanto pelas ideias deles sobre a filosofia natural quanto por suas crenças religiosas. Era uma pessoa muito estimada por sua capacidade de conversar com polidez, tanto que após sua

²⁰ Essa obra se apresentava como um importante trabalho de Benedito Castelli em hidráulica. Ele começou a pesquisar esse assunto junto a seu mestre Galileu. Sobre esse assunto ver a carta de Benedito Castelli a Galileu, em 18 de junho de 1639.

²¹ Raimondi. 8.

²² Ibid.

²³ Gliozzi. 2492.

morte, seu desejo de ser enterrado na igreja de San Lorenzo, Florença, foi respeitado pelas autoridades eclesiástica da época²⁴.

No que diz respeito a sua obra, Torricelli escreveu apenas um único tratado intitulado *Opera Geométrica*, publicada em 1644, financiada pelo grão-duque Ferdinando II de Toscana (1610-1670)²⁵. Essa obra foi dividida em três sessões: a primeira parte tratava da esfera e de outros sólidos de revolução. A segunda abordava o movimento dos corpos pesados que caíam naturalmente e os projéteis. A terceira parte consistia no estudo sobre a parábola. Essa obra ficou conhecida na Itália e em toda a Europa pela clareza com que Torricelli expunha e divulgava a geometria de Bonaventura Cavalieri (1598-1647), cujos textos eram muito difíceis de serem entendidos²⁶.

Diante disso, sua fama como geômetra fez crescer suas correspondências com pesquisadores Italianos e muitos estudiosos franceses. Numa dessas correspondências, Torricelli travou sérios debates com Gilles Personne de Roberval (1602-1675) sobre certas propriedades das cicloides, incluindo a determinação da área, o centro de gravidade e o volume do sólido gerado por sua rotação em torno da base. Conseqüentemente, para salvaguardar os direitos de suas pesquisas, Torricelli tinha intenção de publicar todas as correspondências mantidas com os matemáticos franceses em 1646, até começou a esboçar, quando veio a falecer em 1647²⁷. Além disso, correspondeu-se também com outros matemáticos, dentre eles

²⁴ Ibid. 2493.

²⁵ Era o filho mais velho do casal Cosimo II de Medici e de Maddalena de Austria. Foi grão-duque de Toscana de 1621 a 1670 e era irmão do cardeal Giovanni Carlo de Medici e de Leopoldo de Medici. Ferdinando II e seu irmão mais jovem, Leopoldo, eram interessados em pesquisas científicas experimentais. Sobre esse assunto vide W. E. K. Middleton, *Science in Rome, 1675-1700*, and *Accademia Fisicomatematica of Giovanni Giustino Ciampini*; in *The British Journal for the History of Science*, Vol. VIII, Part. II, nº 29.

²⁶ Gliozzi. 2493; vide David A. Kronick. *"The Commerce of Letter Networks and Invisible Colleges in Early Modern Science"*, in *"Devant le Deluge" and Other Essays on Early Modern Scientific Communication*, Oxford, (2004), 268.

²⁷ Ibid.

seu amigo Michelangelo Ricci. Numa dessas correspondências trocadas com Ricci, Torricelli relatou suas impressões sobre um experimento que teria, posteriormente, grande repercussão, como veremos a seguir.

Um breve contexto histórico

O ensaio barométrico ou relato experimental de Torricelli teve significativa importância no desenvolvimento da ciência moderna em meados do século XVII. Além de ter estado no centro dos debates relativos à possibilidade da existência do vazio²⁸, esse ensaio representou, segundo alguns historiadores, uma forma de ruptura com o pensamento aristotélico na medida em que ajudou a promover uma nova maneira de pensar e abordar a natureza nas origens da ciência moderna²⁹.

A partir do início do século XVII, os filósofos naturais começaram a observar a natureza e o cosmo para além das visões aristotélicas. Eles acreditavam que a natureza precisava ser vista de maneira diferente das concepções aristotélicas. Essa nova mentalidade levaria mais tarde, estudiosos da natureza, tal como Galileu, a admitir a igualdade qualitativa entre matéria terrestre, com suas imperfeições, e a divina matéria celeste, unificando o a física terrestre com a celeste³⁰.

²⁸ Sobre debate relativo à existência do vazio, vide Fumikazu Saito, “Algumas Aspectos da Ideia de Experiência de Blaise Pascal”, in *O Saber Fazer e Seus Muitos Saberes: Experimentos, Experiências e Experimentações*, A. M. Alfonso-Goldfarb & M. H. R. Beltran, orgs. (São Paulo, Editora Livraria da Física; Educ; Fapesp, 2006), 119-43.

²⁹ Alexandre Koyré. *Estudos de História do Pensamento Científico*, Rio de Janeiro, Florence Universitária, (2011), 200-2.

³⁰ Alfonso-Goldfarb, Ana Maria. *Ciência e Sociedade no Século XVII na Europa*, Cad. Cat. Ensino de Física, Florianópolis, nº 6, (junho, 1989), 49.

Um dos fatores que conduziu a essa nova forma de pensar a natureza está relacionada ao próprio contexto de época em que as artes (*technai*) passaram a ser valorizadas. Desde o século XVI, e mais fortemente no século XVII, o reconhecimento e a valorização das artes e ofícios dos artesãos, engenheiros, arquitetos, mineiros e alquimistas pelos filósofos naturais possibilitaram uma interação entre o conhecimento teórico (*scientia*) e o conhecimento prático (*techné*). Essa interação da filosofia natural especulativa com o conhecimento manual e técnico conduziram os filósofos naturais não só a observarem a natureza, mas também a reproduzirem os fenômenos nela observados artificialmente, por meio de diferentes experiências e experimentos³¹. A investigação desses fenômenos passou gradativamente a ser realizada utilizando-se aparatos ou instrumentos, que desde o século XVI e XVII, surgiram em decorrência da demanda de novos métodos matemáticos e experimentais. Essa nova forma de investigar a natureza exerceu papel importante no desenvolvimento da nova imagem de natureza, cosmo e de ciência³².

Em linhas gerais, podemos dizer que foi no encontro da filosofia natural com a arte (*techné*) que se começou a delinear os primeiros contornos do que viria a ser o método experimental capaz de romper as barreiras entre o natural e o artificial. Diferentemente da concepção dos aristotélicos, que viam na arte uma forma de imitar a natureza, os estudiosos da natureza nos séculos XVI e XVII passaram a enfatizar que a arte era não mais mera imitação imperfeita da natureza, mas algo que poderia aperfeiçoá-la e enobrecê-la. Isso é notório, por exemplo, como observa Abrantes, em Galileu que, por meio do diálogo do

³¹ Paulo Abrantes. *Imagem de Natureza, Imagem de Ciência*, Campinas, SP, Papirus Editora (1998), 54.

³² Fumikazu, Saito. *O Telescópio na Magia Natural de Giambattista della Porta*, São Paulo, Livraria da Física Editora (2011), 173-4.

personagem Salviati, destaca a importância e a valorização dos trabalhos artesanais de Veneza para ambientar a primeira jornada de seus *Discursos sobre as Duas Novas Ciências*³³.

Uma das razões que conduziram a aproximação entre filosofia natural e arte foi a busca de soluções aos problemas práticos relacionados aos fenômenos naturais. No século XVII, os filósofos naturais, artesão, matemáticos e engenheiros se depararam com problemas de ordem natural e técnica que intrigava a todos na região da Itália. Um desses problemas, por exemplo, pode ser encontrado numa correspondência trocada entre Giovanni Batista Baliani (1582-1666) e Galileu.

“Andei pensando se poderia ocorrer que o canal ou sifão possuía alguns poros pelos quais não possa passar a água nem mesmo o ar, a não ser com grande violência; por isso, quando o tubo está cheio, a água pressiona tanto que faz tanta força (para sair) que o ar entra pelos poros que estão na parte superior, de modo que a água possa descer (...) sem que surja um vácuo. Tendo descido, portanto (aproximadamente a metade), restando no tubo apenas essa água, ela não tem a força de fazer tanta violência ao ar que possa forçá-lo a entrar pelos poros acima indicados. O tubo é de cobre (...) pesa 15 onças por palmos e por mais esforço que se faça não se pode ver que possuía furos sensíveis”³⁴.

Baliani desejava passar a água de um vale para outro através de um sifão. Desde 1614, ele já se correspondia com Galileu que escrevera para ele sobre o problema de pesar o ar e propunha algumas soluções. Em 1630, Baliani consultou Galileu a respeito de um fenômeno que havia observado e que o deixava perturbado. Seu desejo era fazer a água passar de um vale a outro,

³³ Abrantes, 66-7.

³⁴ Carta de Giovanni Battista Baliani a Galileu, Genova, 565-6; vide Roberto de A. Martins. *O Vácuo e a Pressão Atmosférica*, 26-7.

usando um longo sifão que subia uma colina de 20 metros de altura. O vale onde ficava a água era mais elevado do que o outro e tudo indicava que o sifão iria funcionar. Ocorreu que os dois lados do sifão foram enchidos com água, tendo sido tampados embaixo. Abrindo a boca do sifão, algo surpreendente aconteceu, a água saía pelos dois lados, ao mesmo tempo, até cair toda a água. Se abrisse apenas o lado que ficava na fonte, desceria até aproximadamente a metade do tubo, ficando então parada³⁵.

Depois de ter recebido a carta de Baliani, Galileu lhe respondeu em 6 de agosto de 1630, através de uma carta na qual procurou explicar o fenômeno. Galileu observou na carta que quando se tentava puxar a água em um sifão, ou em uma bomba aspirante, a coluna de água que estava sendo puxada no tubo se comportava como se fosse uma corda que estava sendo erguida, de tal maneira que se fosse muito comprida se quebraria, não podendo, assim, mais subir. Segundo Galileu, a altura máxima que a água podia subir era de 40 pés, que correspondia a cerca de 12 metros. Ele acreditava numa força limitada do vácuo, que produzia um efeito até certo ponto.

Cabe observar que naquela época também havia o problema da bomba aspirante que inquietava tanto engenheiros como também os filósofos naturais sobre a incapacidade de ela elevar a água acima de um certo limite de altura. Salomon de Caus, engenheiro, já descrevia esse fenômeno em 1615. A explicação dele foi que quando se tentava aspirar a água a uma altura superior a seu limite, cerca de 10 metros, ela tendia a parar de subir e o ar acima dela ficava cada vez mais rarefeito.

³⁵ Martins, 26, vide W. E. K. Middleton. "The Place of Torricelli in the History of the Barometer", *Isis* 54, nº 175 (1963), 13.

Entretanto, após receber a carta de Galileu, dia 06 de agosto de 1630, Baliani escreveu duas outras a Galileu. Uma delas foi escrita em 04 de outubro³⁶ e, a outra, em 26 de outubro³⁷ de 1630. Na primeira carta, Baliani deixava entender que ele se considerava o primeiro a admitir que o ar tinha peso e que este ar pressionava um corpo por todos os lados de modo uniforme. Ou seja, tudo na natureza estava inserido num mar de ar de modo que o ar pesava sobre todas as coisas. Assim, na segunda carta, Baliani propôs uma nova explicação para o fenômeno do sifão, observando inicialmente que:

"Para explicar-me melhor, já que, se o ar pesa, a única diferença entre o ar e a água é a quantidade; é melhor falar sobre a água, cujo peso é mais sensível, porque o mesmo deverá acontecer com o ar. Imagino-me, portanto, estar no fundo do mar, onde a água tenha a profundidade de dez mil pés – e, se não fosse preciso respirar, creio que poderia estar aí, embora me sentisse mais comprimido e pressionado por todos os lados do que estou agora; e por isso creio que não poderei estar no fundo de qualquer profundidade de água a qual, crescendo ao infinito, cresceria tanto essa compressão, em minha opinião, que meus membros não poderiam resisti-la. Mas, voltando, não sentirei outro trabalho pela dita compressão da água nem sentirei mais o peso da água do que aquele que percebo quando, entrando sob a água ao banhar-me no mar, tenho dez pés de água sobre a cabeça sem que sinta seu peso. Mas se eu não estivesse dentro da água, que me pressiona por todos os lados, e estivesse, não digo no vácuo, mas no ar, e se de minha cabeça para cima houvesse água, então sentiria um peso que não poderia sustentar senão se tivesse uma força proporcional a ele; de modo que, separando violentamente as partes superiores da água das inferiores, mesmo se aí não se formasse o vácuo mas entrasse o ar, de todo modo se exigiria força para separá-las - porém não infinita, mas determinada, e de cada vez maior, conforme fosse maior a profundidade da água sob a qual eu estivesse; pela qual, não tenho dúvidas, se estivesse no fundo de dez mil pés de água, como dito acima, calcularia como impossível de fazer essa separação com qualquer força que fosse ...

³⁶ W. E. K. Middleton. *The Place of Torricelli in the History of the Barometer*, Isis 54, nº 175 (1963), 13.

³⁷ Martins, 27.

e vê-se que não seria verdadeiramente impossível, mas que o impedimento viria de não ter tanta força que pudesse fazer tal violência à água que fosse suficiente para superá-la"³⁸.

Ou seja, Baliani constatava que o ar pesava e que seu peso não era infinito. Desse modo, visto que tudo estava imerso numa imensidão de ar, Baliani explicava que:

"Penso que o mesmo ocorre no ar, pois estamos no fundo de sua imensidão e não sentimos nem seu peso nem a compressão que há por todos os lados, pois nosso corpo foi feito por Deus de tal qualidade que possa resistir muito bem a essa compressão sem sentir ofensa – senso que ele é necessário e não se poderia ficar sem ele. Creio que, mesmo se não tivéssemos que respirar, não poderíamos ficar no vácuo, mas se estivéssemos no vácuo, então, sentiríamos o peso do ar que estivéssemos sobre a cabeça, o qual creio ser enorme. Pois, embora suponha que o ar é mais leve a maiores alturas, creio que a sua imensidão é tal que, por pouco que seja seu peso, deve-se admitir que se sentirá o de todo o ar que está acima. Esse peso é muito grande, mas não infinito – e, portanto, determinado. Com força proporcional a ele, seria possível superá-lo e assim causar o vácuo. Quem quisesse encontrar essa proporção precisaria saber a altura do ar e seu peso em cada altura. Mas, como for, eu realmente o julgava tal que, para causar o vácuo, imaginava que fosse necessária uma violência maior do que aquela que pode ser feita pela água no tubo com menos de 80 pés"³⁹.

Nessa passagem podemos notar dois pontos interessantes. Primeiro, Baliani sugere que, tal como já mencionamos no excerto anterior, que a água pesava mais que o ar. Segundo, que o ar pesa mais que o vácuo (se ele fosse possível de ser produzido) e que, se superássemos a força do peso do ar, o vácuo poderia ser produzido. Terceiro, que o peso do ar não era infinito, mas determinado.

³⁸ Baliani, Giovanni, *apud* Gilberto Govi. *Intorno al Primo Scopritore della Pressione Atmosferica*. Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino 2, 1867, 568-70.

³⁹ Govi, 568-70.

Por exceder os objetivos deste trabalho, não discutiremos aqui o vácuo. Entretanto, é importante ter em conta que as questões relativas ao peso do ar conduziram também ao debate sobre a possível produção ou mesmo existência do vácuo na natureza. Como veremos mais adiante, quando apresentarmos o experimento de Torricelli, o fenômeno hoje conhecido como "barométrico" teria como causa o "peso do ar" e não o "horror ao vácuo"⁴⁰.

Em outros termos, a nova explicação do fenômeno dada por Baliani conduziria a admitir que não era a natureza que tinha repugnância ao vácuo, mas sim que o peso do ar era responsável pela subida da água pelo sifão.

Embora as ideias de Baliani tenham influenciado os estudiosos da natureza que se dedicaram a investigar o peso do ar e a possibilidade da existência do vácuo, foi Gasparo Berti (1600-1643) que teve influência direta na elaboração do ensaio de Torricelli.

Segundo Roberto Martins, o experimento da coluna de Berti antecederia o celebre experimento de Torricelli.⁴¹ Após a realização desse experimento de Berti, o instrumento passou por uma modificação para se perceber se, de fato, a parte superior ficava vazia ou não. O experimento foi descrito por Maignam da seguinte maneira⁴²:

“Em outro dia, o experimento foi tentado de uma forma diferente. O tubo maior, já mencionado, foi perfurado lateralmente perto de A e um tubo de chumbo curvo AS, provido de uma torneira G, foi

⁴⁰ Sobre o vácuo, vide Blaise Pascal *“Prefácio ao Tratado sobre o Vácuo, 47-55; ou Fumikazu Saito, “Alguns Aspectos da Ideia de Experiência de Blaise Pascal”, in O Saber Fazer e Seus Muitos Saberes: Experimentos, Experiências e Experimentações, São Paulo, Editora Livraria da Física; Educ, Fapesp, (2006), 119-143; ou ainda Edward Grant, Much Ado About Nothing: Theories of Space and Vacuum from the Middle Ages to the Scientific Revolution, London, New York, New Rochelle Melbourne Sydney, Cambridge University Press, (2008), 67-100.*

⁴¹ Martins. 33.

⁴² Ibid. 35.

unido e soldado a ele com estanho. Quando tudo estava pronto, a água foi derramada em C, como antes. O parafuso D foi colocado e a boca S do tubo, com sua torneira, foi dobrada para dentro de um recipiente HI cheio de água, colocado mais alto do que a janela, de tal forma que obviamente nenhum ar externo pudesse entrar através da torneira G quando a água – como vou relatar – desceu e fluiu pela torneira R. Pois, quando esta foi aberta, a água se escoou como antes até a marca L, como se percebeu pela altura da marca feita anteriormente no tonel EF. Em seguida, a torneira R foi fechada e a torneira G aberta. Então, o pequeno tubo sugou a água que foi fornecida continuamente ao recipiente HI, até que por fim todo o espaço foi enchido: o tubo, acima de L, o frasco e o pequeno tubo – exceto pelo aparecimento de uma bolha de ar de certo tamanho sob a boca C. Realmente, o espaço ocupado por essa bolha, que alguns pensaram ser um vácuo, estava realmente cheio de ar. Pois o tubo AS e o recipiente HI foram erguidos um pouco de modo que água no último estava além de A, para o frasco, preenchendo-o completamente, já que antes parecia que não poderia sugá-la. Mas não foi possível passar mais água e portanto é certo que o pequeno espaço mencionado, abaixo de C, não era um vácuo, mas sim um pleno – uma bolha de ar ou, como alguns preferiram pensar de éter. Mas as opiniões variaram sobre de onde esse ar ou éter teria vindo e se ele, sozinho, rarefeito, preenchia o espaço que a água havia abandonado. Pois alguns diziam que essa pequena porção de ar havia entrado pelos poros do vidro ou do chumbo, enquanto outros preferiram que tivesse sido retirada da água e então se expandido para preencher todo o frasco e o tubo, até L. E que ele não podia se expandir e rarefazer mais e que por isso a água ficou suspensa nessa marca L por alguma força coesiva do ar, de modo que nem descia nem fluía mais⁴³.

⁴³ Maignam, *Cursus Philosophicus*, apud W. E. K. Middleton, *History of Barometer*, Baltimore, The Johns Hopkins Press, (2010), 12-3.

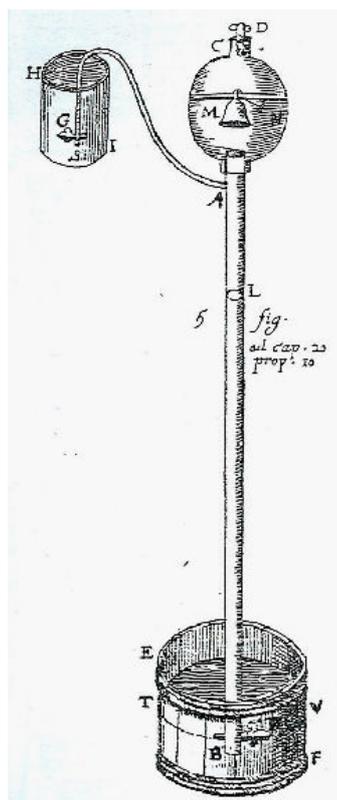


Figura 2 – o experimento de Berti.

Segundo Maignam (1601-1676), daí surgia a questão de saber se o espaço vazio formado era um vácuo e, para esclarecer essa dúvida, outro experimento foi realizado, introduzindo-se no recipiente de vidro um badalo de ferro. Com isso, após a descida da água, o badalo seria atraído por um imã e depois solto, batendo no sino. Assim, se aquele espaço vazio fosse de fato um vácuo, o som do sino não poderia ser ouvido, visto que acreditava-se que o som só se propagaria num meio material. Mas, curiosamente, parece que, ao tocar o sino, seu badalo fora ouvido. A explicação, entretanto, não confirmava que aquele espaço tinha ou não matéria, pois era possível afirmar que as vibrações do sino teriam se propagado dele para a cúpula de vidro, o que aponta novamente para a difícil questão de decidir-se se o vácuo poderia existir definitivamente⁴⁴.

⁴⁴ Ibid. 35; apud W. E. K. Middleton, *The Place of Torricelli in the History of the Barometer*, 16.

De acordo com Martins, Torricelli tomou conhecimento do experimento realizado por Berti através de uma carta que Raffaello Magiotti enviara a Mersene. Nesta carta, datada de 25 de maio de 1648, em que Magiotti descrevera o experimento de Berti para Mersenne, afirmava que informava também Torricelli sobre o experimento, sugerindo a ele que utilizasse água do mar⁴⁵.

O uso da água do mar foi recomendado, visto ser mais denso (e, portanto, mais pesado) do que a água. Isso permitiria que o experimento fosse realizado em escala menor do que aquele que utilizava a água. O conhecimento de que o peso do ar, tal como afirmava Baliani anos anteriores, não era infinito, mas determinado, possibilitou aos experimentadores daquela época propor outros líquidos que agora poderiam ser comparados com a altura da coluna de água ordinária, visto que água sempre "parava" na mesma altura. De fato, como veremos mais adiante, Viviani e Torricelli optariam por refazer o experimento utilizando mercúrio.

Evangelista Torricelli e o ensaio barométrico

A carta em que Torricelli descreve o ensaio barométrico foi enviado a Michelangelo Ricci em 11 de junho de 1644. Cabe observar que naquela época, as ideias eram discutidas e disseminadas por meio de cartas entre os eruditos e acadêmicos na Europa. Como veremos mais adiante, esse documento apresentase no estilo de "carta científica", apresentando a seguinte estrutura: introdução, propósito, confirmação, argumento e conclusão; com um estilo narrativo⁴⁶.

⁴⁵ Martins, 35; vide W. E. K. Middleton. *The Place of Torricelli in the History of the Barometer*, 17.

⁴⁶ Cabe observar que as cartas científicas, além de ser uma forma dos filósofos naturais ou dos eruditos ou ainda dos acadêmicos divulgarem suas ideias, também saiam do controle dos sistemas governamentais e religiosos nesses períodos. David A. Kronick, "*The Commerce of Letter Networks and Invisible Colleges in Early Modern Science*" in "Devant Le Deluge" and other Enssays on Early Modern Scientific Communication, Oxford, (2004), 268-9.

Toricelli mantinha correspondências com muitos estudiosos italianos e franceses, incluindo astrônomos, matemáticos, filósofos naturais e outros eruditos. Ele se correspondeu com Ricci, Carcavi, Mersenne, F. Du Verdu e Roberval⁴⁷.

Ele se correspondia também com Michelangelo Ricci porque havia entre eles uma relação de amizade muito grande. Desde sua infância, Torricelli recebera uma educação humanista supervisionada por seu tio, o monge camaldolese Jacopo. De 1625 a 1626, estudou matemática e filosofia na escola dos jesuítas em Florença, onde conheceu Michelangelo Ricci. Em seguida seu tio o enviou a Roma para receber uma educação dirigida por Benedetto Castelli, que era monge, matemático, engenheiro hidráulico e discípulo de Galileu⁴⁸.

Como secretário de Castelli em Roma, Torricelli se apresentava como matemático de profissão, bem entendido na geometria de Apolônio, Arquimedes e de Teodósio. Também dizia ter estudado Ptolomeu, Brahe, Kepler e Longontano. Podemos dizer que seu interesse nos assuntos abordados por esses estudiosos o influenciaram tanto que o levaram a aceitar a doutrina de Copérnico, fazendo dele um "galileano de profissão", por conhecer tão bem o pensamento de Galileu e, ao mesmo tempo, ter estudado profundamente a obra *Dialogo sobre os Dois Máximos Sistemas de Galileu*⁴⁹. Além disso, por influência de Cartelli, Torricelli foi convidado para dar conferências nas ausências de Galileu e, ao mesmo tempo, pediu que Galileu aceitasse Torricelli como seu assistente. Galileu o aceitou e o convidou para se juntar a ele em Arcetri.

Podemos dizer que Torricelli foi discípulo direto de Galileu porque, além de conhecer profundamente o pensamento de seu mestre, também residiu com

⁴⁷ Gliozzi, 2492.

⁴⁸ Ibid.

⁴⁹ Carlos Eduardo A. Parizotto. "Evangelista Torricelli", (2007). <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/person/torricel.htm>

ele, chegando a substituí-lo na Academia⁵⁰. Após a morte de Galileu, em 08 de janeiro de 1642, Torricelli foi nomeado pelo Grão-Duque Ferdinando II da Toscana como matemático e filósofo para ocupar o posto deixado por Galileu⁵¹.

No que diz respeito a Ricci, ele era um servidor da corte papal, e ocupava o cargo de conselheiro do Papa⁵². Ele, além de ser um competente matemático, era também um crítico valorizado que participava da Academia del Cimento⁵³ de Florença como orientador dos acadêmicos. Por volta de 1670, Ricci trocou o estudo de matemática pelo estudo de Direito Canônico, tornando-se uma das autoridades no assunto e sendo depois convidado para ser um dos consultores do Tribunal do Santo Ofício Romano, ou seja, foi convidado para ser “Consultor do Escritório Sagrado” pelo cardeal Alexandre VII, em 1681. Nesse mesmo ano foi também nomeado cardeal pelo Papa Inocêncio IX⁵⁴. Como consultor e cardeal, Ricci também aconselhava alguns estudiosos sobre assuntos polêmicos e delicados que fossem contra a fé católica. Convém observar que naquela época, qualquer ideia ou pesquisa contrária à fé cristã, poderia levar o estudioso aos Tribunais da “Santa Inquisição”, como aconteceu com o próprio Galileu⁵⁵.

⁵⁰ Luigi Campedelli. “Michelangelo Ricci” in Dictionary of Scientific Biography, 2008, 404.

⁵¹ Parizotto.1-2. Torricelli morou na casa de Galileu, onde também moravam Vincenzo Viviani. E, em 1644, Torricelli trabalhou para publicação de sua obra prima, conhecida como *Opera Geométrica*. Essa obra ficou conhecida por toda Itália pela clareza com que Torricelli expunha a geometria de Cavalieri. Sobre esse assunto vide Luigi Campedelli, 404.

⁵² Campedelli, 404.

⁵³ Essa foi fundada pelo grão-duque Ferdinando II de Toscana e seu irmão o príncipe Leopoldo de Medici em Florença, no ano de 1657. Nela participavam homens cultos e literatos; alguns eram discípulos e estudiosos de Galileu como Giovanni Alfonso Borelli e Vincenzo Viviani. Accademia del Cimento era uma academia que se caracterizava pelo experimento, “Accademia do Experimento”. Essa juntamente com as Accademias de Lincei, fundada em Paris, 1603 e a Royal Society, fundada em Londres, no ano de 1660 exerceram um função no processo de institucionalização da Ciência no século XVII. A Accademia Del Cimento ficou conhecida nos seus dez anos como a “Accademia de Leopoldo” só depois foi reconhecida com o nome “el Cimento”. Havia uma ideia de que ela tinha um método experimental harmônico com o desenvolvimento da Ciência Experimental Européia como sendo uma exímia herdeira da inovação galileana. Sobre o assunto Accademia Del Cimento ver *The Accademia Del Cimento and its European Content*, Marco Beretta, Antonio Clericuzio & Lawrence M. Principe (editores), Science History, USA, 2009.

⁵⁴ W. E. K. Middleton. *Science in Rome, 1675-1700, and The Accademia Fisico-matemática of Giovanni Giustino Ciampini*, 149.

⁵⁵ Campedelli, 404; vide Roberto de Andrade Martins. *Tratado Físico de Blaise Pascal*, 37.

Podemos dizer que a grande contribuição de Michelangelo Ricci na área do saber encontra-se na matemática, com a obra *Geometrica Exercitatio de Maximis et Minimis*, publicada em Roma no ano de 1666⁵⁶. Nesse particular, cabe observar que Torricelli exerceu uma influência significativa nas pesquisas sobre a geometria de Ricci. Foi nessas trocas de correspondências sobre geometria que Torricelli encontrou a oportunidade de encaminhar a Ricci suas conclusões sobre o ensaio barométrico. De fato, no início da carta, questões ligadas à matemática estão presentes:

“Enviei algumas semanas atrás demonstrações minhas sobre o espaço da cicloide ao Senhor Antonio Nardi, pedindo-lhe que, depois de havê-las visto, enviasse-as diretamente a vossa senhoria ou então ao senhor Raffaello Magiotti”⁵⁷.

Torricelli referia-se a uma das muitas polêmicas instauradas naquela época sobre o espaço da cicloide. Esta era uma discussão que iniciara-se com Mersenne (1588-1648) e continuaria a se desenrolar até às investigações realizadas pela família Bernoulli⁵⁸. Ao que tudo indica na carta, nessa discussão, ainda incluíam-se dois outros personagens, Antonio Nardi e Raffaello Magiotti (1597-1656), que compartilhavam da amizade e das ideias dele, que estariam também em Roma nesse período. Nardi e Magiotti eram também discípulos de Galileu, por isso, provavelmente, Torricelli solicitava que suas investigações sobre o espaço da cicloide fossem encaminhadas para eles.

⁵⁶ Ibid.

⁵⁷ Carta de Torricelli a Michelangelo Ricci, 11 de junho de 1644.

⁵⁸ Daniel Zampieri Loureiro & Dulcyene Maria Ribeiro. “O Pomo da Discórdia”, (1981): 2 <http://projetos.unioeste.br/cursos/cascavel/matematica/xxvsam/artigos/72.pdf>

No que diz respeito ao experimento, a carta, do dia 11 de junho de 1644, nos informa que Torricelli encontrava-se em Florença, e segundo Middleton, Michelangelo Ricci, em Roma⁵⁹. Nessa carta, Torricelli apresentou os resultados a respeito de seu experimento, que teria ocorrido em 1643, descrevendo-o com sucesso⁶⁰. Ele inicia seu ensaio saudando o amigo de longas datas, declarando “Muito ilustre Senhor e Mestre Caríssimo”⁶¹, uma saudação que exprime respeito e admiração por Ricci pelo que ele representava para si; para o meio acadêmico e para o meio religioso, como conselheiro do papa. Reconhecia a competência do amigo em poder receber e avaliar tanto suas ideias quanto a extensão e o impacto delas para as discussões científicas e religiosas para época.

Cabe observar que esse experimento não fora realizado para demonstrar a possibilidade da existência do vácuo, embora a sua realização implicasse considerá-lo ou não. De fato, a carta afirma:

“que estava sendo feita alguma experiência filosófica sobre o vácuo, não simplesmente para fazer o vácuo, mas para fazer um instrumento que mostrasse as mudanças do ar - ora mais pesado e grosso ora mais leve e sutil”⁶².

Diante das controvérsias sobre o vazio, Torricelli demonstra seu avanço em relação aos seus antecessores. Sua preocupação era produzir um instrumento que mostrasse a variação e o peso ar.⁶³ Ele estava investigando e realizando experiências com a finalidade de encontrar um "instrumento" para mostrar a variação e o peso do ar.

⁵⁹ W. K. E. Middleton. *The Place of Torricelli in the History of the Barometer*, 19.

⁶⁰ Há controvérsia sobre a data da realização do experimento de Torricelli. A Accademia Del Cimento costuma atribuí-lo ao ano de 1643, porém, Middleton parece não concordar com essa data. A esse respeito vide W. E. K. Middleton, em “*The Place of Torricelli in the History of Barometer*”, 11-28.

⁶¹ *Carta de Torricelli a Michelangelo Ricci*, 11 de junho de 1644.

⁶² Idem

⁶³ W. E. K. Middleton. *The Place of Torricelli in the History of the Barometer*, 21.

Ao utilizar o termo "instrumento" não estamos aqui designando os modernos instrumentos científicos, nem afirmando que Torricelli (1608-1647) estava interessado em construir um barômetro. Como bem observa Taub:

“muitos objetos, que hoje, são descritos como “instrumento científico”, foram, em seu período de produção, durante os séculos XVII e XVIII, chamados de “instrumentos matemáticos, óticos, ou filosóficos; (...). O termo “instrumento matemático” referia-se a instrumentos divididos e podia incluir mostradores solares, bussolas, etc; (...). A designação “instrumento ótico” foi usada por fabricantes de óculos, e podia-se referir a uma lente, espelho, ou prisma, enquanto, “instrumento filosófico” designava objetos usados em filosofia experimental”⁶⁴.

Ou seja, longe de ser um "instrumento" em sentido moderno, Torricelli estaria realizando um experimento (filosófico) utilizando instrumentos ou aparatos filosóficos⁶⁵.

Como já mencionamos, embora o objetivo de seu experimento não fosse validar ou invalidar a possibilidade da produção ou da existência do vácuo, fazia-se sentir a necessidade de considerá-la ou não de alguma maneira, como podemos notar na seguinte passagem:

“Muitos disseram que o vácuo não pode ocorrer; outros que pode, mas com esforço e com repugnância da natureza; ainda não conheço ninguém que haja dito que possa ocorrer sem esforço e sem resistência da natureza”⁶⁶.

⁶⁴ Liba Taub. “*On Scientific Instruments*”, in *Studies in History and Philosophy of Science*, Cambridge, 40, (2009), 138.

⁶⁵ Para maior informação a esse respeito vide Fumikazu Saito, *O Telescópio na Magia Natural de Giambattista della Porta*, (São Paulo: Educ/Fapesp, 2011), 173-273.

⁶⁶ Carta de Torricelli a Michelangelo Ricci, 11 de junho de 1644.

Ou seja, Torricelli reconheceu que, embora admitisse a existência do vazio, havia ainda muitas controvérsias em torno disso, mesmo entre aqueles que presenciaram seu experimento. Alguns talvez nem soubessem se estavam na presença ou ausência de um vácuo, até porque esta questão não poderia ser discutida em público com total segurança em Roma naquele período⁶⁷.

Convém observar que naquela época havia diferentes pontos de vista com relação ao vácuo e ao peso do ar. Havia partidários da ideia de que a natureza era plena, tais como Étienne Noël (1581-1659), Francis Bacon e René Descartes (1596-1650), este último considerado o maior opositor ao vácuo da época. Descartes, por exemplo, negava a existência do vácuo nos corpos, dando uma explicação pela condensação e rarefação. Ele defendia a ideia de que um corpo aumentava ou diminuía de tamanho quando “algo” entrava ou saía dele⁶⁸.

Por outro lado, havia também os defensores da ideia da existência do vácuo na natureza, tais como Galileu, Antônio Nardi, Raffaello Magiotti, Michelangelo Ricci (1619-1682), Pierre Petit, Blaise Pascal⁶⁹.

Mas encontramos ainda entre esses dois grupos, alguns estudiosos que não reconheciam o peso do ar, mas admitiam a possibilidade da existência do vácuo, tal como Gilles Personne Roberval (1602-1675). Em outros extremos, havia também partidários da ideia do vácuo, mas que não aceitavam a ideia do peso do ar⁷⁰.

⁶⁷ Middleton. *The Place of Torricelli in the History of the Barometer*, 17.

⁶⁸ Martins, 22-3; vide René Descartes. *Princípio de Filosofia*, Lisboa, Portugal, 2006, 59-73; ou ainda vide René Descartes. *O Mundo ou Tratado da Luz e O Homem*, Campinas, Unicamp, 2009, 41-55.

⁶⁹ Christoph Meinel. *Early Seventeenth-Century Atomism: Theory, Epistemology and the Insufficiency of Experiment*, Isis, Vol. 79, N° 296 (1988), 68-103.

⁷⁰ Fumikazu Saito. “O significado da Experiência no Desenvolvimento de Novos Conceitos em Ciências Naturais: uma Abordagem Histórica”, 20.

No caso de Torricelli, ele acreditava que era possível o vácuo na natureza, mas com esforço e repugnância⁷¹. Em sua investigação, ele parece estar em busca de encontrar as causas dessa resistência:

“Eu pensava assim: se encontrasse alguma causa evidente que explicasse essa resistência que se sente ao tentar fazer o vácuo, parecer-me-ia inútil tentar atribuir ao vácuo esse efeito que claramente é devido a outra razão; e, fazendo certos cálculos fáceis, encontro que a causa admitida por mim (ou seja, o peso do ar) deveria por si só ser mais notável do que ela o é ao se tentar (produzir) o vácuo”⁷².

Torricelli explicava, em seu ensaio a Ricci, que também pensava como muitos filósofos naturais que, embora admitissem a existência do vácuo na natureza, achavam que esse só poderia ser obtido com esforço ou repugnância da natureza. Ele teria acreditado nessa ideia se tivesse encontrado uma causa evidente que explicasse essa resistência. Entretanto, ele concluía, através de seu experimento, que o ar tinha peso e que, para produzir o vazio, era necessário um esforço maior do que ele ocorria na natureza. Assim, ele afirma que a causa do espaço vazio observado por ele no topo do instrumento é o peso do ar⁷³.

Segundo Egidio, Torricelli teria assim admitido que não era o próprio vácuo a causa dessa resistência e nem mesmo a própria natureza como pensavam alguns filósofos naturais. Destacava assim que a variação do peso do ar, ora mais quente ou ora mais frio, interferia no resultado de seu experimento⁷⁴.

Egidio observa também que Torricelli estaria discordando indiretamente daqueles filósofos naturais, e até mesmo de Galileu, que admitiam a existência do

⁷¹ Martins, 37-8.

⁷² Carta de Torricelli a Michelangelo Ricci, 11 de junho de 1644.

⁷³ Festa. *Torricelli, Pascal y el Problema del Vazio*, 9.

⁷⁴ *Ibid.* 9-10.

vazio microscópico entre partículas que constituíam a matéria, mas aceitava a repugnância do ar e da natureza em relação ao vácuo⁷⁵.

Todavia, discordando da posição de seu mestre, Galileu, Torricelli, em seu ensaio, apresentava o argumento que justificava sua hipótese sobre a causa da resistência ao vazio ser o peso do ar ao dizer que:

“Vivemos submersos no fundo de um abismo do elemento ar, o qual, por experiências indubitáveis, sabe-se que pesa; e tanto que, a essa grande vizinhança da superfície da terra, pesa aproximadamente 1/400 do peso da água”⁷⁶.

Torricelli demonstrava clareza, em sua pesquisa, ao dizer a Ricci que o elemento ar, que envolvia a vida humana, tinha peso e que seu peso era menor do que o da água, tal como fizera Baliani anos antes. Com essa posição, ele estaria afirmando que, diferentemente do que muitos aceitavam naquela época, inclusive Galileu, que o ar tinha peso diferente da água⁷⁷.

A partir desse seu ensaio, Torricelli retomava essa discussão, já desde o início do século XVII para reafirmar, através de seu experimento, a posição de Beeckman, Jean Rey (1583-1645), Gasparo Berti e Raffaello Magiotti (1597-1650) que também defendiam o peso do ar e acreditavam na influência dele nas coisas e sua variação de acordo com a superfície da terra⁷⁸.

Como veremos a seguir, o ensaio barométrico colocava em questão muitas das premissas aristotélicas. A causa do fenômeno barométrico passaria assim a ser explicada não pelo princípio do horror ao vácuo, mas pelo peso do ar.

⁷⁵ Ibid. 6-7; vide a obra de Galileu, *Discursos sobre Duas Novas Ciências. Tradução de Letizio Mariconda e Pablo R. Mariconda, Editora Nova Stella, 1988, 59-60.*

⁷⁶ Carta de Torricelli a Michelangelo Ricci, 11 de junho de 1644.

⁷⁷ Middleton. *The Place of Torricelli in the History of the Barometer*, 12.

⁷⁸ Ibid. 12-4.

*“(...) Essa força que dirige
o mercúrio contra sua natureza
de cair para baixo, conforme se acreditou
até agora, era interna ao vaso, ou ao vácuo, ou a
essa matéria extremamente rarefeita; mas eu mantenho que
é externa e que a força vem de fora”.*

(Ensaio de Torricelli a Michelangelo Ricci, 11 de junho de 1644).

CAPÍTULO II

MOVIMENTO E EQUILÍBRIO DOS CORPOS

Neste capítulo apresentamos a interpretação do experimento barométrico dada por Torricelli em sua carta encaminhada a Ricci em 11 de junho de 1644. Discorreremos sobre as hipóteses e outras ideias aludidas por Torricelli para explicar o fenômeno barométrico e suas implicações.

O ensaio barométrico de Torricelli

Como já mencionamos anteriormente, na carta encaminhada a Ricci, Torricelli afirma que ele realizara algumas experiências filosóficas sobre o vácuo com finalidade de "fazer um instrumento" que lhe possibilitasse observar as mudanças e as variações no ar⁷⁹.

O experimento foi brevemente narrado por Torricelli da seguinte forma:

“Fizemos muitos vasos de vidro como indicados A e B, grossos e com o pescoço com comprimento de suas braças; (sendo) esses preenchidos de mercúrio, depois fechados pela boca com um dedo e invertidos em um vaso C no qual havia mercúrio, via-se que eles se esvaziavam e que nada acontecia ao vaso que se esvaziava (...)"⁸⁰.

⁷⁹ Carta de Torricelli a Michelangelo Ricci, 11 de junho de 1644.

⁸⁰ Ibid.

E, constatou que: "(...) o pescoço AD ficava sempre cheio até a altura de uma braça e um quarto e mais polegada"⁸¹.

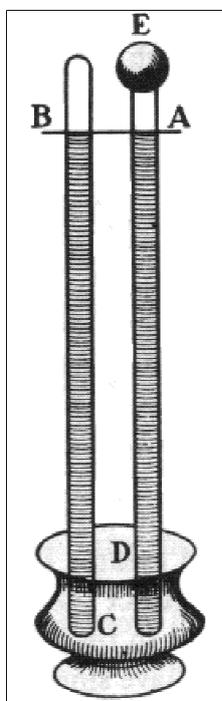


Figura 3 – Experimento que demonstra o equilíbrio do mercúrio no tubo e espaço vazio.

Torricelli, tal como sugere esta passagem, teria realizado várias vezes esse experimento e em todos teria observado que o mercúrio sempre ficava suspenso à mesma altura dentro dos tubos. Além disso, constatava também que aquele espaço acima da coluna de mercúrio estava sempre vazio nos dois tubos. Isso ele constatara realizando outro experimento:

“para mostrar que o vaso estava perfeitamente vazio preenchia-se o vasilhame com água sobreposta (ao mercúrio) até D; e, erguendo o vaso pouco a pouco, via-se, quando a boca do vaso chegava à água, que o mercúrio descia do pescoço e ele se enchia de água, com ímpeto horrível, totalmente, até a marca E”⁸².

⁸¹ Ibid.

⁸² Ibid.

A brusca queda do mercúrio e a súbita ascensão da água não ofereciam nenhuma dificuldade de explicação para os oponentes do vazio. Como bem observa Saito, os aristotélicos acreditavam que:

“(...) quando a abertura do tubo chegava na região da água no recipiente, o mercúrio sendo mais pesado do que a água, trocava de lugar. Assim, a leveza movente do ether puxava a água do recipiente para cima. E na compensação de pesos, o mercúrio, mais pesado do que a água, caía na cuba. Neste caso, o ether saía pelos poros do vidro e empurrava o ar contíguo a ele que, por sua vez, empurrava a água sobre o recipiente. Obrigado a se mover, água do recipiente empurrava o mercúrio. Mas, como o mercúrio era mais pesado do que água, ele a empurrava em seu lugar para dentro do tubo, tomando, assim, o seu lugar por baixo, de modo a tornar o tubo cheio de água. (...) Assim, como para os estudiosos da natureza daquela época, a subida da água pelo tubo não era nenhum mistério. Pois, acreditava-se que a natureza, sendo plena, procurava sempre restabelecer a sua condição natural. Assim, o ether, separado do ar pela violência que lhe foi impressa, era restabelecido ao eliminar o peso do mercúrio. E a água, subia pelo tubo (trocando de lugar com mercúrio) em vias de evitar a formação de um vácuo”⁸³.

Porém, Torricelli deu ao experimento outra interpretação deixando à margem a tradicional explicação do fenômeno, ou seja, que a repugnância da natureza à formação do vácuo seria responsável pelos efeitos observados.

Podemos dizer que Torricelli acreditava na possibilidade de se produzir o vácuo. Como alguns filósofos naturais da sua época, ele pensava também que o vácuo só poderia ser obtido ou produzido com esforço e repugnância da natureza. De fato, isso é notório quando ele menciona em sua carta que:

⁸³ Fumikazu Saito. “O Significado da Experiência no Desenvolvimento de Novos Conceitos em Ciências Naturais: uma Abordagem Histórica”, 26-7.

“(…) se [alguém] encontrasse alguma causa que explicasse essa resistência que se sente ao tentar fazer o vácuo, parecer-me-ia inútil tentar atribuir ao vácuo esse efeito que claramente é devido a outra razão; e, fazendo certos cálculos fáceis, encontro que a causa admitida por mim (ou seja, o peso do ar) deveria por si só ser mais notável do que ela o é ao se tentar (produzir) o vácuo”⁸⁴.

Segundo Middleton, Torricelli parecia ter clareza de que havia alguma causa evidente que explicava a resistência ao vácuo⁸⁵. Diferentemente de outros filósofos naturais que atribuíam o fenômeno barométrico ao princípio do *horror vacui*, Torricelli estava convencido que essa resistência ou repugnância teria uma causa evidente⁸⁶. Desse modo, ele afirmava que:

“Alguns filósofos, vendo-se incapaz de fugir a essa confissão de que a gravidade do ar explica a repugnância sentida ao se fazer o vácuo, não dissesse que aceita o efeito do peso do ar mas persistisse em afirmar que a natureza também contribui para repugnância ao vácuo”⁸⁷.

Ao realizar o experimento barométrico, Torricelli chegava à conclusão de que a causa de tal repugnância era, na realidade, o peso do ar. O que significava que, se o peso do ar fosse vencido, o vácuo poderia ser produzido. Assim, diante dos resultados obtidos por seu experimento, Torricelli destacava que essa causa da repugnância da produção do vácuo deveria ser percebida mais do que ela o é quando buscasse produzir o vácuo.

⁸⁴ Carta de Torricelli a Michelangelo Ricci, 11 de junho de 1644.

⁸⁵ W. E. K. Middleton. *The Place of Torricelli in the History of the Barometer*, 13.

⁸⁶ É importante destacar que Torricelli usou a palavra peso do ar (il peso dell'aria) e não o conceito pressão, até porque esse só seria cunhado só mais tarde. Às vezes ele fala da gravidade (la gravita) do ar, vide W. K. E. Middleton. *The Place of Torricelli in the History of the Barometer*, 11-28.

⁸⁷ Torricelli, Evangelista. *Carta a Michelangelo Ricci*, 11 de junho de 1644.

Nesse particular, Middleton observa que Torricelli demonstrava um grande avanço em relação a seus antecessores ou alguns filósofos naturais daquela época por não encontrar dificuldade em aceitar a ideia da existência do vazio⁸⁸. Torricelli estaria discordando indiretamente daqueles filósofos naturais, especialmente de seu mestre Galileu, que admitia a existência do vazio microscópico entre partículas que constituem a matéria, mas aceitava a repugnância do ar e da natureza em relação ao vácuo, através do exemplo das pranchas de metal ou de vidro. Como vimos anteriormente, Galileu sustentava que esta mesma resistência estava na impossibilidade de fazer subir a água de um sifão mediante a extração ou através de uma bomba aspirante citada por Beeckman, a uma altura de 10 metros e meio⁸⁹.

Diferentemente de Galileu, Torricelli observava que:

“vivemos submersos no fundo de um abismo do elemento ar, o qual, por experiências indubitáveis, sabe-se que pesa; e tanto que, a essa grande vizinhança da superfície da terra, pesa aproximadamente 1\400 do peso da água”⁹⁰.

Por meio desse argumento Torricelli sustentava que esse abismo de ar que envolvia os homens tinha peso e que esse peso era menor do que o da água. Torricelli contrapunha, assim, a tese de Galileu que não admitia nenhuma diferença entre o ar e a água. Para Galileu, o ar em si mesmo e em cima da água não pesava nada⁹¹.

⁸⁸ Middleton *The Place of Torricelli in the History of the Barometer*, 13.

⁸⁹ Festa. *Toricelli, Pascal y Problema del Vacio*, 6-7; vide obra de Galileu o *Discurso sobre Duas Novas Ciências*, 59-60.

⁹⁰ Carta de Torricelli a Michelangelo Ricci, 11 de junho de 1644.

⁹¹ Middleton. *The Place of Torricelli in the History of the Barometer*, 12.

Mas, ao tratar sobre a densidade e a variação do ar, Torricelli estava também se posicionando contra alguns preceitos aristotélicos. Para a filosofia natural de índole aristotélica, todos os elementos possuíam seu lugar natural, sendo a terra absolutamente pesada e o fogo absolutamente leve. O ar e a água eram intermediários, ficando esta acima da terra e aquela, acima da água. Além disso, a água e o ar tinham pesos relativos. A água era sempre pesada, exceto na terra e o ar, pesado, especialmente quando não estava na terra ou na água⁹².

Desse modo, todas as coisas na natureza eram constituídas desses quatro elementos e recebiam deles suas propriedades. Ou seja, tal como Torricelli afirmava em sua carta, a água seria mais pesada do que o ar, pois no ar teríamos menos terra e água. Do mesmo modo, o mercúrio seria mais pesado do que a água, pois nele encontraríamos mais terra do que na água.

Assim, como discorremos anteriormente, a natureza do mercúrio era a de trocar de lugar com a água, visto que este era mais leve do que aquela. Porém, a água era mais pesada do que o ar. Assim, como a natureza não permitia a produção do vácuo, a água subiria pelo tubo. A partir disso, Torricelli chegava a duas conclusões: 1) que o vácuo não poderia ser produzido, a não ser que a resistência para produzi-lo não fosse vencida; 2) que a causa da suspensão do mercúrio não poderia ser atribuída ao vácuo, mas à resistência em produzi-lo, ou seja:

“(...) enquanto o vaso AE estava vazio e o mercúrio se sustentava, embora pesadíssimo, no pescoço AC, essa força que dirige o mercúrio contra sua natureza de cair para baixo, conforme se acreditou até agora, era interna ao vaso AE; ou ao vácuo; ou a essa matéria extremamente rarefeita; mas eu mantenho que é externa e que a força vem de fora”⁹³.

⁹² Fumikazu Saito. “Alguns Aspectos do Empreendimento Experimental de Blaise Pascal”, 60; vide também Fumikazu Saito. “O Significado da Experiência no Desenvolvimento de Novos Conceitos em Ciências Naturais: uma Abordagem Histórica”, 23.

⁹³ Carta de Toricelli a Michelangelo Ricci, 11 de junho de 1644.

Em outros termos, Torricelli estava se referindo aos estudiosos da natureza que acreditavam que a causa do fenômeno era interna ao tubo. Cabe observar que alguns estudiosos da natureza, que não admitiam a possibilidade de produzir o vácuo, entendiam que o que sustentava o mercúrio era uma partícula de ar que teria a propriedade de se esticar como uma mola. Esses estudiosos explicavam que esse átomo de ar teria entrado no tubo quando o dedo fora colocado na abertura do tubo antes de virá-lo. Como essa partícula de ar era muito pequena, ela não teria sido detectada. Assim, uma vez que a partícula de água estava dentro do tubo, ela teria se alojado no topo, pois o mercúrio era mais pesado do que o ar. Desse modo, a partícula de ar ficaria acima do tubo e o mercúrio logo abaixo dela. Mas como o mercúrio era mais pesado do que o ar, então, o mercúrio puxaria a partícula de ar que se esticaria como uma mola. Como a natureza não permitia a produção do vácuo, essa partícula de ar elástica se esticava e assim sustentava a coluna de mercúrio. Por outro lado, havia também outros estudiosos que admitiam que ali nada tivesse entrado, nem mesmo a partícula de ar. Estes acreditavam que o ar não poderia ser tão elástico quanto parecia. Assim, defendiam a ideia de que o que sustentava a coluna de mercúrio era, na realidade, uma substância mais sutil e rarefeita⁹⁴.

Podemos dizer que a razão para que os estudiosos da natureza não admitissem a possibilidade da causa ser externa repousava no fato de o ar ser mais leve que o mercúrio. Segundo a filosofia natural aristotélica, o elemento mais leve tenderia a estar sempre sobre o mais pesado. Desse modo, não fazia sentido que o ar, que era mais leve que o mercúrio, o pudesse sustentar. Segundo Saito,

⁹⁴ Fumikazu Saito. “Alguns Aspectos do Empreendimento Experimental de Blaise Pascal”, 59.

Étienne Noel (1581-1659), por exemplo, sustentaria mais tarde em seu escrito intitulado *Le plein du vide*, que:

“(...) esse ar sutil e ígneo seria denominado de ether. Mais facilmente encontrado no ar, o ether, que não era senão o “fogo elementar” (ou ‘espírito ígneo’, como algumas vezes foi chamado), era responsável por todos os efeitos observados na experiência barométrica. (...) O mercúrio, ao descendo por sua gravidade em virtude de seu peso, fazia subir aquele do recipiente; e este, aquele ar que estava em torno do tubo, que por sua vez, era pressionado contra as paredes do tubo de vidro. Assim, o ether, que saído ar, era empurrado para o lugar esvaziado daquele que estava nos poros, o qual, por sua vez, era empurrado para o lugar abandonado pelo mercúrio: eis que tudo se fazia ao mesmo tempo da descida do mercúrio”⁹⁵.

Então, Saito afirma que Noel acreditava que:

“o ether não continuaria entrando pelos poros do vidro na medida em que sua natureza é a de sempre subir. Na esteira da filosofia natural aristotélica, Noel admitia que, na escala dos elementos, a terra era o elemento mais denso e pesado, e que, por natureza, tendia sempre para baixo. Por outro lado, o fogo (ou ether, na concepção de Noel) sendo mais rarefeito ou leve, deveria, por sua inclinação natural, estar acima do ar e de todos os outros elementos. Desse modo, devido a sua leveza (légereté) o ether não era forte o suficiente para empurrar outros corpos, contíguo a ele, e ocupar o seu lugar, de tal modo que nenhum movimentou ou mudança poderia ser observado. Assim, favorecido por sua leveza, o ether não podia mudar de lugar. Da mesma maneira, a coluna de mercúrio estacionava na altura ordinariamente observada, na medida em que ele (o mercúrio) não podia obrigar um outro corpo, contíguo a ele, a se deslocar. Assim, o ether e o mercúrio estariam, curiosamente, num estado de equilíbrio, pois, nem um e nem o outro tinham força suficiente para obrigar o corpo vizinho (contíguo a eles) a se deslocar”⁹⁶.

⁹⁵ Saito. “O Significado de Experiência no Desenvolvimento de Novos Conceitos em Ciências Naturais: uma Abordagem Histórica”, 25.

⁹⁶ *Ibid.*, vide Fumikazu Saito. “Alguns Aspectos do Empreendimento Experimental de Blaise Pascal”, capítulo II.

Mas Torricelli dava outra interpretação, concluindo que a causa deveria ser externa. Ou seja, a quantidade de ar acima da bacia de mercúrio era tão grande que o seu peso poderia sustentar a coluna de mercúrio. Com efeito, visto que os homens viviam submersos num oceano de ar (e que este ar pesava sobre eles), logo, a causa da suspensão do mercúrio deveria ser o peso do ar. Torricelli então questiona:

“(…) sobre a superfície do líquido que está na bacia gravita a altura de cinquenta milhas de ar; devemos nos maravilhar se no vidro CE, onde o mercúrio não tem tendência nem repugnância, pois nada existe aí, ele entre e se eleve tanto que se equilibre com a gravidade do ar externo, que o empurra?”⁹⁷.

E compara assim com os experimentos realizados anteriormente com tubos contendo água:

“(…) Também a água em um vaso semelhante, mas muito mais longo subirá até quase dezoito braças, isto é, tanto mais em relação ao mercúrio quanto o mercúrio é mais pesado do que a água, para equilibrar-se com mesma causa que empurra um e outro”⁹⁸.

Desse modo a causa da suspensão do mercúrio, assim como a da água realizada em grandes tubos, devia-se ao peso do ar. Assim, Torricelli conseguia dar a razão para a impossibilidade de bombear a água acima de uma altura de 18 braças. Ou seja, era impossível a elevação da água a essa altura porque, no momento que era bombeada, provocava espaço vazio no cano não causado por uma força interna, mas por uma força externa que fora chamada de peso do ar.

⁹⁷ Carta de Torricelli a Michelangelo Ricci, 11 de junho de 1644.

⁹⁸ Ibid.

Contudo, o principal e mais importante argumento contra uma causa interna era a constatação experimental de que o mercúrio sempre ficava suspenso em sua altura ordinária, independentemente da capacidade dos tubos:

“O raciocínio era firmado pela experiência feita ao mesmo tempo com vaso A e com tubo B nos quais o mercúrio parava sempre na mesma horizontal AB – sinal quase seguro de que a força não estava dentro, pois o vaso AE teria mais força, onde havia mais matéria rarefeita e atrativa, e muito mais poderosa pela maior rarefação, do que aquela do pequeníssimo espaço B”⁹⁹.

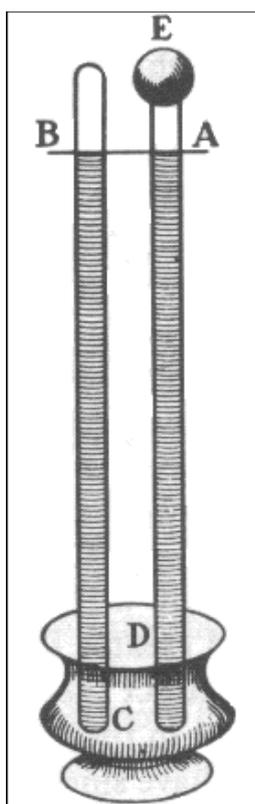


Figura 4 – Experimento apresenta a diferença entre os espaços A e B.

⁹⁹ Ibid.

Torricelli observava que o tubo A tinha capacidade maior do que B. Porém, o mercúrio ficava suspenso à mesma altura nos dois tubos. Isso significava que a causa deveria se externa porque o espaço no topo do tubo A era maior do que o espaço no topo do tubo B. Isso significava que a causa não poderia ser interna (a tese da partícula de ar e da matéria sutil) porque, se assim fosse, os espaços deveriam ser iguais. Torricelli se perguntava como é que a causa poderia ser interna se os espaços num tubo e no outro são diferentes no topo, sendo que o mercúrio está sempre à mesma altura nos dois tubos.

Desse modo, concluiu Torricelli:

“Tentei, portanto, com esse principio, explicar todo tipo de repugnância sentida nos vários efeitos atribuídos ao vácuo, não tendo, até agora, encontrado nada que não dê certo”¹⁰⁰.

E aponta para outros aspectos que ainda deveriam ser investigados, aspectos estes nos quais não obtivera êxito:

“minha principal intenção, no entanto, não teve sucesso - a de conhecer quando o ar é mais grosso e pesado e quando é mais sutil e leve com instrumento EC, pois o nível AB se altera por uma outra causa (que eu não poderia acreditar), ou seja, pelo calor e frio - e muito sensivelmente, como se o vaso AE estivesse cheio de ar”¹⁰¹.

Ou seja, faltava ainda explicar outros fenômenos observados quando o ensaio barométrico era submetido a variadas condições. Como podemos constatar ao final desta carta, que conforme se aquecia ou esfriava o topo do tubo, havia uma alteração no nível AB do mercúrio nos tubos, ou seja, Torricelli

¹⁰⁰ Carta de Torricelli a Michelangelo Ricci, 11 de junho de 1644.

¹⁰¹ Ibid.

constatou que havia uma variação no nível da coluna do mercúrio. Isso poderia conduzir aos oponentes do peso do ar de que a causa da suspensão deveria ser interna, visto que a altura da coluna de mercúrio variava quando aquele espaço vazio formado no topo era submetido a condições adversas. Porém, a carta termina sem dar maiores informações a esse respeito.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como vimos no primeiro capítulo, embora o experimento barométrico estivesse inserido no contexto dos debates sobre a existência ou não do vazio na natureza, é preciso avaliá-lo num contexto mais amplo em que se leve em conta questões atinentes ao movimento dos corpos leves e pesados, ao princípio da constituição da matéria, à qualidade do som e sua natureza, à possibilidade de quantificar os fenômenos, e assim por diante. No que diz respeito à carta encaminhada por Torricelli a Ricci, podemos dizer que esse documento não pretendia especificamente defender a existência do vazio ou mesmo em querer produzi-lo para comprovar sua existência. Uma análise mais pontual revelou-nos que o experimento despertou mais interesse porque, realizado em pequena escala com mercúrio, ele propiciava medir a densidade e variação do peso do ar.

Contudo, as questões relativas ao vazio estavam presentes mesmo que de forma indireta. A interpretação dada por Torricelli explicava não só a causa da suspensão do mercúrio como também apontava para a resistência limitada da natureza em produzir o vácuo. Porém, Torricelli não chegou sozinho a esses resultados. Foram muitos os filósofos naturais que o influenciaram diretamente ou indiretamente. Nesse sentido, ele deveu muito às ideias de Beeckman, Jean Rey, Gasparo Berti, Raffaello Magiotti e outros.

Como vimos no segundo capítulo, a maneira de Torricelli interpretar o seu experimento expressava antes de tudo uma nova maneira de elaborar o conhecimento científico que pressupunha o levantamento de uma hipótese antes

de se proceder ao experimento. Mas o que é interessante observar nesse sentido é o fato de Torricelli mencionar na carta que ele realizou várias experiências filosóficas que possibilitassem observar as mudanças e as variações no ar. A realização de várias experiências em diferentes condições, tal como discorreremos, é uma das novidades da filosofia experimental que começou a ganhar contornos no século XVII.

Esse experimento teve grande repercussão nos anos posteriores. Ele reavivou, por exemplo, o debate acerca da difícil questão relativa ao vazio¹⁰². Posteriormente, estudiosos tais como Blaise Pascal, Thomas Hobbes e Robert Boyle ainda se debruçariam sobre as consequências e implicações ligadas a esse experimento.

Enfim, podemos dizer que por este experimento Torricelli constatava que a natureza, de fato, tinha horror ao vácuo. Porém, esse horror era limitado de modo que, se essa resistência fosse vencida, um vácuo poderia ser produzido, visto que todos os efeitos observados em seu experimento tinham como causa o peso do ar.

¹⁰² Saito Fumikazu. "Alguns Aspectos do Empreendimento Experimental de Blaise Pascal" (dissertação de mestrado), Pontifícia Universidade de São Paulo, 2002, 22-4.

BIBLIOGRAFIA

Abrantes, P. *Imagens de Natureza, Imagens de Ciência*. Campinas, Papirus Editora, 1998.

Alfonso-Goldfarb, A. M. *O que é História da Ciência*. São Paulo, Brasiliense, (coleção Primeiro Passos, vol. 286), 1994.

_____. *A Magia das Máquinas: John Wilkins e a Origem da Mecânica Moderna*. São Paulo, Experimento, 1994.

_____. “Ciência e Sociedade no Século XVII Europeu: A Formação da Cosmologia Moderna”. *Cad. Cat. Ens. Fis., Florianópolis*, 6 (Número Especial): junho, 1989.

Alfonso-Goldfarb, A. M. & M. H. Beltran, orgs. *O Saber Fazer e Seus Muitos Saberes: Experimentos, Experiências e Experimentações*. São Paulo, Editora Livraria da Física; Educ, Fapesp, 2006.

Alfonso-Goldfarb, A. M. & M. H. M. Ferraz. “Discussão Sobre o Princípio Metalífico da Matéria na Royal Society e a Recepção das Memórias de H. Boerhaave Sobre o Mercúrio”, in *Filosofia e História da Ciência no Cone Sul*. 3º Encontro. Campinas: AFHIC, 29-35, ed. R. A. Martins, L. A. C. P. Martins, C. C. Silva; J. M. H. Ferreira, 2004.

Alfonso-Goldfarb, A. M. & C. A. Maia. *História da Ciência: Mapa do Conhecimento*. São Paulo, Edusp, 1995.

Alfonso-Goldfarb, A. M. A. & J. L. Golffarb. “Para Além dos Conflitos e da Harmonia entre Ciência e Religião: Os Casos de Galileu e Isaac Newton”. In: *Teologia e Ciência: Diálogos Acadêmicos em Busca do Saber*, orgs. A. M. L. Soares & J. D. Passos, São Paulo, Educ. Paulinas, 2008.

Aristóteles. *Física I-II*. Trad. Lucas Angioni. Campinas, SP. Editora Unicamp, 2009.

Bassalo, J. M. F. “Nascimento da Física”. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 18, nº 2, 1996.

Beltran, M. H., F. Saito & L. S. P. Trindade, orgs. *História da Ciência*, São Paulo, Editora Livraria da Física, 2010.

Beltran, A. *Revolucion Científica Renacimiento e Historia de la Ciencia*. España, Siglo XXI, 1995.

Beretta, M., Antonio Clericuzio & Lawrence M. Principe, editores. *Science History*, U.S.A., 2009.

Boyer, Carl B. & Uta C. Merzbach. *História da Matemática*. São Paulo, Blucher, 2012.

Briern, D. O. *Theories of Weight in the Ancient World Plato Weight and Sensation*. Paris, Les Belles Lettres, 1984.

Bunge, M. *La investigacion Cientifica: su Estrategia y su Filosofia*. Barcelona, Ariel, 1973.

Butterfield, H. *As Origens da Ciência Moderna*. Edições 70, Lisboa, Portugal, 1949.

Bygmum, W. F., E. J. Browne & R. Porter. *Dicionário de História de la Ciência*. Barcelona, 1986.

Campedelli, L. Dictionary of Scientific Biography, American Council of Learned Scientists; Enciclopédia Abril, vol. 11, 2008.

Caverni, R. *Storia Del Metodo Sperimentale in Italia*. vol. I. New York, London, Johnson Reprint Corporation, 1972.

Coelho, S. M. & A. D. Nunes. Análise de um Texto do Século XVII, “A Grande Experiência de Equilíbrio dos Líquidos”, de Pascal: Aspectos do Método Experimental e Reflexões Didáticas. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 14, nº 1, 1992.

Cohen, B. “The Experimental Physical Sciences”. In: *Album of Science: from Leonardo to Lavoisier, 1450-1800*. vol. I. New York, Charles Scribner’s Sons, 119-147, 1980.

Conant, J. B. *Modern Science and Modern Man*. New York, Columbia University Press, 1953.

_____. *Ciência e Senso Comum*. São Paulo, Clássico Cientista, 1958.

_____. *Como Compreender a Ciência*. São Paulo, Cultrix, 1947.

Dear, P. *Revolutionizing: European knowledge and its Ambition: 1500 – 1700 the Sciences*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 2001.

_____. *The Scientific Enterprise in Early Modern Europe*, 1997.

Debus, A. G. *Science and Education in the Seventeenth-Century*. The Welster – Ward, London, 1970.

Descartes, R. *Princípio de Filosofia*. Lisboa, Portugal, 2006.

_____. *O Mundo ou Tratado da Luz e o Homem*. Campinas, SP, Unicamp. 2009.

Drake, Stillman. *Galileo*, Madri, Aliança Editorial, 1986.

Duhem, P. “Algumas Reflexões Acerca de Física Experimental”. In: *Ciência e Filosofia*. São Paulo, 1989.

- Eves, H. *Introdução à História da Matemática*. Campinas, SP, Unicamp, 2004.
- Évora, F. R. R. C., Espaço e Tempo. Coleção CLE - vol. 15, Campinas, SP, 1995.
- _____. "A Evolução do Conceito de Inércia: De Philoponos a Galileu". Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1996.
- Feldman, T. S. "Barometer". In: *Instruments of Science: an Historical Encyclopedia*, ed. Roberto Bud & Deborah Jean Warner, 1998.
- Festa, E. "Torricelli, Pascal y el Problema del Vacío", (2009): Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, Santa Cruz de Tenerife (Islas Canarias. España). Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/28610454/Torricelli-Pascal-Y-El-Problema-Del-Vacio-Egidio-Festa-Centre-Alexandre-Koyre-Paris>.
- Galavotti, M. C. *Observation and Experiment in the Natural and Social Sciences*, Boston/London, Kluwer Academic Publishers-dordrecht, 1993.
- Galilei, G. *Duas Novas Ciências*. Tradução de Letizio Mariconda e Pablo R. Mariconda, Editora Nova Stella, 1988.
- Gama, S. *Introdução à Ciência e Tecnologia de Vácuo*. Campinas, SP, Unicamp, Agosto, 2002.
- Gliozzi, M. *Evangelista Torricelli. Dicionário de Bibliografias Científicas*, vol. III, São Paulo, Contraponto, 2009.
- Gomes, M. da C. *Newton e Leibniz: a Questão do Espaço no Século XVII*. Revista da SBHC, nº 11, 1994.
- Gomide, F. de M. *Filosofia do Conhecimento Científico*. Albert Einstein, 1988.
- Gooding, D. *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*. Cambridge University Press, 1993.
- Govi, Gilberto. "Intorno al Primo Scopritore della Pressione Atmosferica". Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino 2, 1867.
- Grant, E. "Medieval and Seventeenth-Century Conceptions of Infinite Void Space beyond the Cosmos" In: *Isis*, vol. 60, nº 1 (Spring, 1969), pp. 39-60. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/229021?origin=JSTOR-pdf>
- _____. *História da Filosofia Natural: do Mundo Antigo ao Século XIX*. São Paulo, Madras, 2006.
- _____. *Much Ado About Nothing: Theories of Space and Vacuum from the Middle Ages to the Scientific Revolution*. London, New York. New Rochelle Melbourne Sydney, Cambridge University Press, 2008.

Hall, A. R. *The Revolution in Science - 1500-1750*. Longman London and New York, 1983.

Henry, J. *A Revolução Científica e as Origens da Ciência Moderna*. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editora., 1998.

Herrera, R. M. “Biografia de Evangelista Torricelli”. In: *Preparacion*. Madrid, 2011.

_____. “Histórias de Matemáticas: História Del Experimento Barométrico”. *Revista Pensamento Matemático*, nº 2, (2012), 1-14.

Jammer, M. *Conceito de Espaço: a História das Teorias do Espaço na Física*. Rio de Janeiro, Contraponto, PUC-Rio, 2010.

_____. *Concepts of Force*. New York, Dover Publications, 1999.

_____. *Concepts of Mass in Classical and Modern Physics*. New York, Dover Publications, 1997.

Koyré, A. *Estudos de História do Pensamento Filosófico*. Rio de Janeiro, Florence Universitária, 1991.

_____. *Estudos de História do Pensamento Científico*. Rio de Janeiro, Florence Universitária, 2011.

_____. *Do Mundo Fechado ao Mundo Infinito*. Rio de Janeiro, Florence Universitária, 2006.

Kronick, D. “The Commerce of Letters Networks and Invisible Colleges in Early Modern Science”, in *“Devant le Deuge” and outhers Ensays on early Modern Scientific Communication*. Oxford, (2004), 265-307.

Kuhn, T. *A Revolução Copernicana*. Lisboa/Portugal,, Edições 70, 2002.

Leijenhorst, C, C. Luthy & J. M. H. Thijssen. *The Dynamics of Aristotelian Natural Philosophy from Antiquity to the Seventeenth-Century*. Leiden - Boston – Koln, Brill, 2002.

Lenoble, R. *História da Ideia de Natureza*. Lisboa, Portugal, Edições 70, 1969.

Longuini, M. D. & R. Nardi. “Origens Históricas e Considerações Acerca do Conceito de Pressão Atmosférica”. *Cad. Cat. Ens. Fís.*, vol. 19, nº 1, abril, 2002.

Losee, J. *Introdução Histórica à Filosofia da Ciência*. vol. 5, Itatiaia, 2000.

Loureiro, Daniel Zampieri & Dulcyene Maria Ribeiro. “O Pomo da Discórdia”, (1981): 1-5. <http://projetos.unioeste.br/cursos/cascavel/matematica/xxvsam/artigos/72.pdf>.

Lunberck, E. *Histories of Scientific Observation*. Chicago and London, The University of Chicago Press, 2011.

Mancosu, P. & E. Vailati. "Torricelli's Infinitely Long Solid and Its Philosophical Reception in the Seventeenth Century". *Isis* - march, vol. 82, n. 311, 1991.

_____. *Philosophy of Mathematics & Mathematical Practice in the Seventeenth Century*. New York, Oxford University Press, 1999.

Martin, Benjamim. *Description of the and use of the Torricellian, or simple Barometer with a Scale of Rectification*, London, 1766.

Martins, Roberto de A. "Tratado Físico de Blaise Pascal". *Cad. Hist. Fil. Ci., Campinas, Série 2*, vol. 1, n. esp., jan./dez., 1989, 1-168.

Mason, S. F. "História de las Ciencias: la Revolucion Cientifica de los Siglos XVI y XVII". Madri, Espanha, Aliança Editorial, 2005.

_____. *História da Ciência: as Principais Correntes do Pensamento Científico*. vol. 1, Editora Rio de Janeiro, Porto Alegre, São Paulo, Globo, 1964.

Meinel, C. "Early Seventeenth-Century Atomism: Theory, Epistemology, and Insufficiency of Experiment". *Isis*, vol. 79, nº 296, (1988), 68-103.

Meli, D. B. *Thinking with Objects: the Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century*. Baltimore. The John Hopkins University Press, 2006.

Middleton, W. E. K. "The Place of Torricelli in the History of the Barometer". *Isis*, vol. 54, nº 175, 1963.

_____. *The History of the Barometer*. Baltimore. The Johns Hospkins Press, 2010.

_____. "Science in Rome, 1675-1700, and the Accademia Fisicomatematica of Giovanni Giustino Ciampini". Cambridge. *The British Journal for the History of Science*, vol. VIII, nº 29, (1975), 138-154.

Minnaert, M. *Light and Colour in the Open Air*. Streer London, G Bell and Sons LTD, 1940.

Miranda, E. E. *O Íntimo e o Infinito: o Universo das Ciências e o Cosmos das Religiões*. Petrópolis/Rio de Janeiro, 2010.

Olby, R. C., C. N. Cantor, J. R. Christie & M. J. S. Hodge. *Companion to the History of Modern Science*. London/New York, Routledge, 1996.

Oliveira, B. J. & M. L. L. Condé. Thomas Khun e a Nova Historiografia da Ciência, in *Ensaio de Pesquisa em Educação em Ciência*, vol. 4, nº 2, dezembro, 2002.

_____. *Francis Bacon e a Fundamentação da Ciência como Tecnologia*. Belo Horizonte, Editora UFMG, 2002.

- Oster, M. *Science in Europe: 1500 – 1800*. The Open University, 2002.
- Parizotto, Carlos Eduardo A. “Evangelista Torricelli (1608-1647)”, 2007. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/person/torricel.htm>.
- Pascal, B. “Prefácio ao Tratado sobre o Vácuo”. In: *Do Espírito Geométrico*. Coleção Grande Obra do Pensamento Universal, Escala, 2006.
- Petit, P. Carta Escrita ao Senhor Charut pelo Senhor Petit. Edição de Brunschvicg, 1646.
- Pièper, J. Uma Introdução ao “Préface pour le Traité du Vide”, in: *La Table Ronde*. n° 150, juin 1960, Paris, Plon, 2009.
- Portela, S. Iv. C. *O Uso de Casos Históricos no Ensino de Física: um Exemplo em Torno da Temática do Horror da Natureza ao Vácuo*. Brasília, Universidade de Brasília, dezembro, 2006.
- Raimondi, E. “I Silenzi di Torricelli”. In: Torricelli e la Nuova Scienza. *Journal of Galilean Studies*. Instituto e Museo Di Storia Della Scienza, Anno VI, 2009.
- Redondi, P. *Galileu Herético*. São Paulo, Companhia das Letras, 1991.
- Reis, F. P. *Dos Efeitos de Geometrias Espaços-temporais na Energia do Vácuo*. Rio de Janeiro, UFRJ, IF, 2006.
- Rival, M. *Os Grandes Experimentos Científicos*. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editora, 1997.
- Ronan, C. A. “The Seventeenth and Eighteenth Centuries”. In: *The Cambridge Illustrated History of the World’ Science*. Cambridge, University Press Mewnes Book, 1984.
- Rose, P. L. “Raffaello Magiotti”. *Dictionary of Scientific Biography*, Vol. 9, 2008.
- Saito, F. “O Vácuo de Pascal Versus o Ether de Noel: Uma Controvérsia Experimental?” São Paulo, *Circumscribere*, 1 (2006).
- _____. “Alguns Aspectos do Empreendimento Experimental de Blaise Pascal”. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2002.
- _____. *Telescópio na Magia Natural de Giambattista della Porta*. São Paulo, Educ, Fapesp, 2011.
- _____. “O Significado da Experiência no Desenvolvimento de Novos Conceitos em Ciências Naturais: Uma Abordagem Histórica”. In *História da Ciência e Ensino: Propostas, Tendências e Construção de Interfaces*, orgs. M. H. R. Beltran; F. Saito, R. N. Santos; W. Wu. São Paulo, Livraria da Física, (2009), 19-29.

_____. Experiência Barométrica na França: um Estudo da Carta de Petit a Chanuit. *Integração*, nº 26, 2001.

Segre, M. "Viviani's Life of Galileo". *Isis*, vol. 80, nº 302, (1989), 201-368.

Shapin, S. "The House of Experiment in Seventeenth-Century England". *Isis*, vol. 79, nº 298 (1988), 373-404.

Shea, W. R. "Filling the Void from Galileo to Torricelli". In: *Designing Experiments & Games of Chance: the Unconventional Science of Blaise Pascal*. USA, Science History Publications, 2003.

Silva, C. C. *Estudos de História e Filosofia das Ciências*. São Paulo, Livraria da Física, 2006.

Sorabsi, R. *Matter, Space, Motion: Theories in Antiquity and their Sequel*. Cornell University Press, 1988.

Stagni, R. & M. H. R. beltran. "A Imagem Alquímica/Química dos Mineiros: um Estudo Preliminar". *Circumscribere*, 5 (2008) 27-38. Disponível em: revistas.pucsp.br/index.php/circumhc/article/download/1634/1052.

Stempniak, R. A. *A Ciência e a Tecnologia do Vácuo*. Faculdade de Ciências Aplicadas de São José dos Campos, 2002.

Suprinyak, C. E. "Torricelli, Energia a Vapor e o Sentido Tecnológico da Revolução Científica". *Revista de Economia Política*, vol. 29, n. 2, abril-junho, 2009.

Taub, L. "On Scientific Instruments". *Studies in History and Philosophy of Science*, 40, Cambridge, 2009.

Torricelli, E. "Carta de Torricelli a Ricci", ed. de Gino Loria e Giuseppe Vassura das Opere di Evangelista Torricelli, vol. 3, 1644.

_____. *Opera Geométrica*. Editora Nabu Press, 2010.

Wallace, W. A. *Galileo, the Jesuits and the Medieval Aristotle*, Ashgate Variorum, 1991.

Westfall, R. *A Construção da Ciência Moderna*. Porto/Portugal, Porto Editora, 2001.

Whitehead, A. N. *A Ciência e o Mundo Moderno*. São Paulo, Paulus, 2006.

Zaterka, L. "Robert Boyle e John Locke: Hipótese Corpuscular e Filosofia Experimental" *Circumscribere* nº 1 (2006).