

A invenção da terra moderna por René Descartes: a difícil revolução científica das esferas terrestres

Rualdo Menegat¹

“As coisas são como são porque eram como eram.”

Rupert Sheldrake, 1995

“O que hoje é evidência foi outrora imaginação.”

William Blake, 1790

introdução: como a gênese da Terra foi parar nas mãos da Ciência

Investigar a história da Geologia é uma atividade deveras complexa. Não apenas pela dificuldade metodológica de reconstruir a densidade do tempo passado a partir de registros fragmentados e esparsos – problema que também é próprio dos geólogos –, mas pela variedade de fontes que permitiram o desenvolvimento dos programas de pesquisa do planeta Terra, consignados pela Geologia moderna (Menegat, 2008). Essas vertentes desdobram-se desde os mitos e o racionalismo clássico, passando pelo ocultismo e a religião (Piccardi e Masse, 2007; Kolbl-Ebert,

2009), além das inúmeras técnicas que permitiram mensurar e estabelecer modelos pragmáticos para a exploração de bens naturais. Para aqueles que consideram que as tarefas da Geologia são apenas a descrição dos materiais do planeta, as fontes históricas dessa ciência são aquelas que dizem respeito ao desenvolvimento de tecnologias de exploração mineral. Nesse caso, a história da Geologia não passaria de um relato da invenção de técnicas como as de mapeamento geológico, de classificação de minerais, rochas e fósseis, de Geofísica, de Geoquímica, entre tantas outras. Porém, para que a Geologia pudesse dar conta da totalidade dos eventos planetários e entender a gênese e a evolução destes eventos, foi preciso inscrevê-los em uma perspectiva histórica, isto é, da possibilidade de uma evolução natural da Terra dada pelo caráter próprio da matéria e possível de ser estabelecida a partir do registro que nos é acessível hoje. No Ocidente, durante um longo período histórico que cobre a Idade Média e boa parte da Idade Moderna, a investigação da gênese e da história da Terra pertenceu de forma quase exclusiva aos domínios religiosos (Kolbl-Ebert, 2009). Por isso, a inclusão da busca da gênese da Terra na ciência foi árdua e recorrentemente evitada, cujos reflexos se fazem sentir até hoje. Ainda é evidente a forte polaridade entre “Geologia física” versus “Geologia histórica” que sempre

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. rualdo.menegat@ufrgs.br

cindiu a Geologia. A primeira, considerada como uma congêrie de técnicas apropriadas a descrever “objetivamente” os materiais terrestres. A segunda, vista como uma mera narrativa ancorada em perspectivas retóricas e teoricistas, mais afeitas aos romances literários do que à verdadeira ciência descritivista. Havia muitas razões para que tal polaridade epistemológica fosse endurecida na aurora do século XIX, quando as bases da Geologia contemporânea puderam ser amplamente desenvolvidas. Uma delas referia-se ao fato de que a Geologia uniformitarista da *machina mundi* de James Hutton [1726-1797] (Repcheck, 2003) – tese que, depois, foi impulsionada por duas das mentes mais brilhantes daquele século, Charles Lyell [1797-1875] e Charles Darwin [1809-1882] – devesse abasmar as “histórias da Terra”, porque vinham sempre contaminadas por vieses teológicos e míticos. Até o influente pesquisador Georges Cuvier [1769-1832], pai da anatomia comparada e do catastrofismo, teve suas teses acusadas de inópia bíblica. Mas, embora a premissa de uma Terra uniforme e sem cataclismos tenha influenciado sobremaneira a Geologia do século XIX e quase todo o XX, ela hoje está completamente refutada. Admitem-se como científicas muitas teses que outrora seriam atribuídas à mera retórica, como as do professor Walter Alvarez, que propugnou como sendo causa da extinção dos dinossauros o impacto de um meteoro (Alvarez, 2008). Ou a proposição de uma Terra totalmente congelada, como se fosse uma bola de neve, no imemorial passado neoproterozóico (Hoffman *et al.*, 1998). Tais teses não encontram as necessárias analogias “atualistas”, apregoadas pelo restringente método uniformitarista. O propósito deste artigo é investigar as raízes da Geologia no século XVII, conhecido como o século de “fabricantes de mundos” ou de “fabricantes de teorias da Terra”, época em que ainda não era possível separar claramente uma “Geologia física” de uma “Geologia histórica” ou de uma “teologia natural”. Entendendo-se a gênese e as fontes da Geologia contemporânea, poderemos ver o quanto a polaridade “físico” versus “histórico”, que tanto marcou a fase áurea da Geologia de Lyell e Darwin e também do século XX, teve fortes razões teológicas que foram sendo renovadas no tempo. Nessa busca, procuraremos demonstrar que a primeira teoria científica da Terra foi elaborada por René Descartes [1596-1650] e que, ao fazê-la, criou também um

método científico distinto daquele que costumeiramente vemos retratado na história da revolução científica. Ou seja, a invenção da Terra moderna precisou vir acompanhada de um método científico particular, que ficou durante longo tempo oculto sob o manto do sucesso dos métodos da ciência propugnados por Francis Bacon [1561-1626] e Galileu Galilei [1564-1642].

a revolução científica ou a reforma das esferas celestes

Na aurora do século XVII, o Ocidente vivia uma impressionante eferescência de idéias que marcaria profundamente o pensamento da modernidade. O racionalismo de René Descartes, a filosofia moral de Baruch (Benedito) Spinoza [1632-1677] e a epistemologia de Francis Bacon, por exemplo, deram origem à Filosofia Moderna, enquanto a mecânica de Galileu Galilei e Isaac Newton [1642-1727] consolidaria a revolução científica das esferas celestes. A cartografia do globo ganhou luxuriantes e acuradíssimos atlas e mapas-múndi, incluindo um dos mais belos livros da história, o *Atlas Maior* de Joan Blaeu [1596-1673] (fig. 1). A Filosofia Natural começava a subdividir-se em disciplinas específicas e inauguravam-se os primeiros museus de História Natural, impulsionados pelo notável gênio de Ulisse Aldrovandi [1522-1605], que cunhou em 1603 a palavra “Geologia” para designar a ciência da Terra, dos fósseis e das rochas (Vai, 2004). Esse progresso extraordinário de idéias e técnicas fez desse século, segundo Mumford (1952, p. 282), “uma das grandes épocas do pensamento em todo o mundo”.

Na história oficial das ciências, ironizada por Stephen Jay Gould [1941-2002] como “história de cartolina”, a Revolução Científica é mostrada apenas em relação às reformas das esferas celestes, isto é, ao fim da longa tradição do geocentrismo ptolomaico-aristotélico. As idéias semeadas por Nicolau Copérnico [1473-1543] em seu livro *De revolutionibus orbium coelestium* (Da revolução de esferas celestes) de 1543, passavam a ganhar uma dimensão prática, por meio do novo método que veio a ser chamado de experimentação científica.

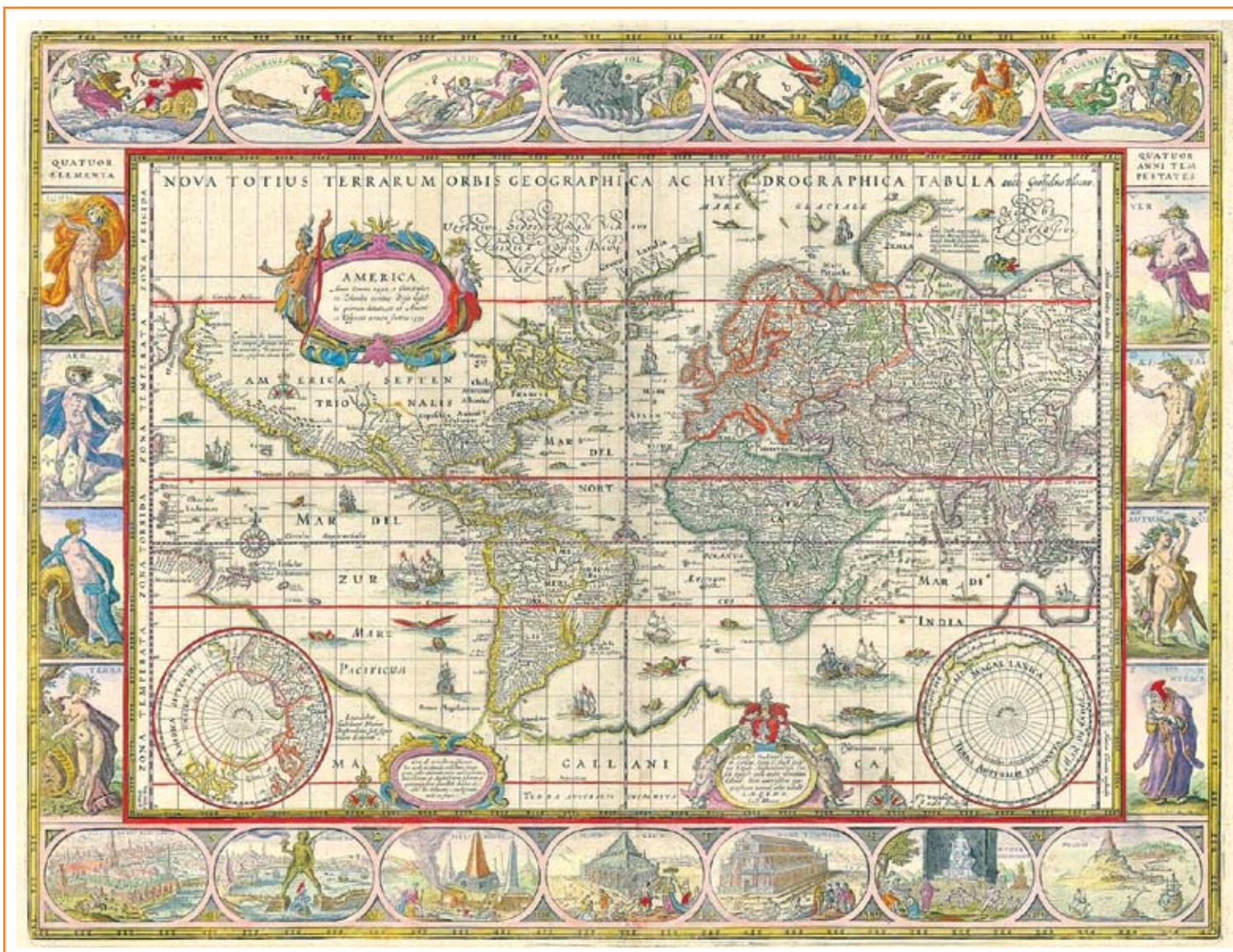


Figura 1 – Embora vista hoje como secundária fonte da revolução científica do século XVII, a Cartografia foi importante meio para disseminar a nova visão de mundo. Graças a ela, foi possível perceber e representar o mundo terrestre também como uma máquina. Uma das mais impressionantes obras cartográficas de todos os tempos é o *Atlas Maior*, publicado em 12 volumes por Joan Blaeu, em 1662-1665. Entre os cerca de 600 mapas, comparece o *Nova et accuratissima totius terrarum orbis geographica ac hydrographica tabula*. Na vinheta do bordo superior, foram representadas as sete esferas celestes, e, na inferior, as sete maravilhas do mundo antigo (Blaeu, 1997).

Figure 1 – Although seen today as a secondary source of the scientific revolution in the seventeenth century, Cartography was an important means of disseminating the new vision of the world; Thanks to it, it was possible to perceive and represent the terrestrial world also as a machine. One of the most impressive cartographic works of all time is the *Atlas Maior*, published in 12 volumes by Joan Blaeu, in 1662-1665. Among the 600 or so maps appears the *Nova et accuratissima totius terrarum orbis geographica ac hydrographica tabula*. In the vignette on the top border, the seven celestial spheres were presented and on the bottom border the seven wonders of the ancient world (Blaeu, 1997).

De acordo com esse método, Galileu Galilei poderia coincidir qualquer de suas observações das luas de Júpiter com um modelo orbital dos satélites em torno do planeta. Assim, fazendo uso de um telescópio, era possível prolongar a projeção da visão e levar esse sentido humano para onde ele não poderia estar, ou seja, próximo de Júpiter. Lá,

poderia ver uma cena que coincidiria com a cena esperada pelo modelo orbital. Portanto, dado um prognóstico do modelo orbital, era possível testá-lo com a observação feita por meio de um telescópio. Nesse caso, a projeção da visão se colocaria sem obstáculos, dado que as esferas celestes são transparentes ao prolongamento da visão. Assim,

Galileu mostrou que nem todos os objetos celestes orbitam a Terra, refutando o modelo geocêntrico. A mecânica celeste e o uso de observações por meio de telescópios para testar os modelos postulados consagraram o método levado a efeito pela revolução científica. Aos poucos, os diferentes modelos celestes que se colocaram como alternativos ao geocêntrico foram sendo refutados, sobrevivendo aquele que melhor resistiu aos testes observacionais (fig. 2).

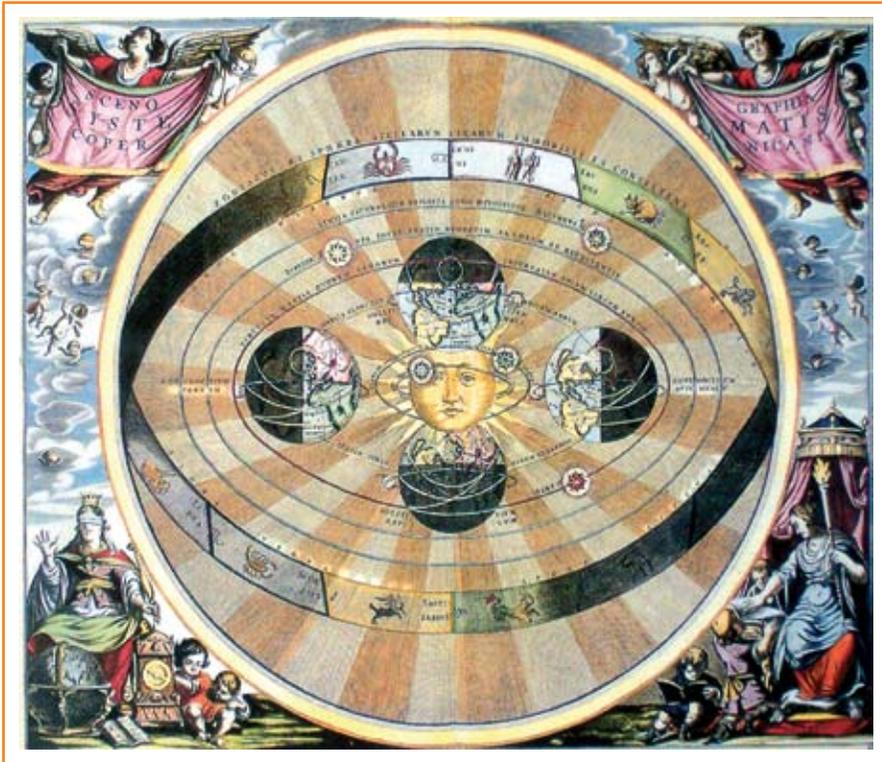


Figura 2
Ilustração do modelo heliocêntrico copernicano segundo a magistral obra do cartógrafo Andreas Cellarius [c.1596-1665] publicada no atlas *Harmonia Macrocosmica*, em 1660 (Cellarius, 2006).

Figure 2
Illustration of the Copernicus heliocentric model according to the masterly work of the cartographer Andreas Cellarius [c.1596-1665] published in the atlas *Harmonia Macrocosmica*, in 1660 (Cellarius, 2006).

Porém, nesse mesmo período as importantes mudanças na concepção da Terra e das esferas terrestres foram muito pouco referidas como parte importante dessa revolução científica desencadeada no século XVII. Assim, a Revolução Científica ficou sendo sinônimo da "revolução das esferas celestes".

O fato inequívoco é que, nesse século, todas as idéias sobre a Terra que se encontravam fortemente controladas pela teologia dos sábios dos mosteiros católicos passaram a navegar autonomamente graças ao movimento reformista de Martinho Lutero [1483-1546], iniciado em 1517 a partir das 95 teses pregadas na porta da catedral de Wittenburg. Embora predominasse o clima de terror e fogueiras, a cisão teológica do Ocidente abriu imensas brechas na velha tradição escolástica-aristotélica, e as mentes científicas aproveitaram-nas para disseminar novas visões

de mundo com uma grande vantagem: podiam dispor da impressão de livros. Porém, às vantagens tecnológicas das novas mídias contrapunham-se os perigos da inquisição, entre os católicos, e da traição em dominó, entre os protestantes. Como bem referiu um dos maiores intelectuais do Novo Mundo, Lewis Mumford (1952, p. 223), devido à "inerente tendência para a cisão, as seitas protestantes eram quase tão inimigas umas das outras, tão ferozmente intolerantes em relação às suas divergências, quanto o haviam sido para com a Igreja Romana".

Embora a reforma das esferas celestes tivesse tido forte resistência na Igreja Católica, na metade do século XVII a questão principal não era tanto como detê-la, mas o que fazer para devolver à Santa Igreja a iniciativa de falar sobre o mundo. A nova configuração celeste já havia avançado nas mentes dos principais sábios da Filosofia Natural e ganhava autonomia nos principais centros acadêmicos da Europa. Além disso, a Bíblia pouco referia sobre a organização do mundo supralunar. O problema maior residia no fato de que as novas idéias contrapunham-se à tradição das autoridades do clero, que propalavam a visão aristotélico-ptolomaica tão bem afinada pelos esforços de Santo Tomás de Aquino [1225-1274] e do genial Dante Alighieri [1265-1321], cuja visão de mundo descrita na *Divina Comédia* foi ilustrada por muitos pintores renascentistas, como o *Mapa do Inferno de Dante*, de Sandro Botticelli [1445-1510] ou de Giovanni Stradano [1523-1605] (fig. 3).

Porém, para reformar o mundo terreno, os problemas eram bem maiores do que enfrentar apenas a tradição das autoridades eclesiásticas. Os alicerces do entendimento do mundo sublunar estavam rigidamente assentados nas narrativas bíblicas, em particular no Gênesis. Essa narrativa originou-se da *Septuaginta*, ou o "Livro dos Setenta", que pode ter sido, para alguns autores, a primeira versão escrita dos mitos judaicos que originaram o Velho Testamento da Bíblia (Repcheck, 2003, p. 30). Por meio de um pedido do rei do Egito Ptolomeu II, no ano de 286 a.C., 72 chefes de tribos judaicas que lá estavam assentadas registraram na língua culta da época, o grego, a história de sua gente.

Portanto, havia uma história da Terra narrada no Livro de Moisés que atravessara dezenas de séculos como sendo uma verdade ao mesmo tempo física, teológica e moral. No século XVII,



Figura 3 – A descrição das esferas do mundo subterrâneo feita por Dante Alighieri na *Divina Comédia* inspirou artistas em todos os tempos. O desenho realista do pintor Giovanni Stradano [1523-1605] mostra que o Renascimento foi também a época da inclusão do interior da Terra como parte do sistema físico do mundo, podendo ser descrito e representado em termos de materiais rochosos.

Figure 3 – The description of the spheres of the subterranean world given by Dante Alighieri in *Divine Comedy* has inspired artists from all times. The realistic design of painter Giovanni Stradano [1523-1605] shows that the Renaissance was also the time when the interior of the Earth was included as part of the physical system of the world, able to be described and represented in terms of rocky materials.

essa história ganhou novas formas por meio da publicação de inúmeras *Histórias Naturais da Bíblia*. Esses livros, além do texto, apresentavam ao leitor impressionantes reconstruções ilustradas quadro a quadro da história da Terra e da genealogia humana desde Adão até Noé, como narrada no *Gênesis* (fig. 4). A genealogia mosaica era acompanhada de mapas muito acurados localizando os lugares bíblicos de cada época, entre outras modernidades possibilitadas pelas novas mídias impressas e pela Cartografia científica.

Nesse cenário, reformar as esferas terrestres seria um esforço quase impossível, não fossem as

fortes disputas teológicas entre católicos e protestantes. Ambos precisavam mostrar a superioridade de seus princípios teológicos para se referir aos textos bíblicos. De um lado, os protestantes afirmavam que a Bíblia deveria ser lida *ipsis litteris*. De outro, os católicos, que propalavam que muitas passagens do Livro Sagrado eram alegóricas e precisavam ser consideradas em diferentes perspectivas. A busca de “provas físicas” para sustentar uma ou outra visão impulsionou o surgimento de novas concepções da Terra, que proliferavam em inúmeras publicações. Tantas foram as novas concepções, que esse século é conhecido como aquele dos “fabricantes de teorias de mundos” (Cutler, 2003). Pensar a Terra para além da Bíblia ou procurar as causas físicas da existência do dilúvio universal ou, ainda, calcular a idade da Terra e dar conta da origem e natureza dos fósseis foram alguns dos temas mais comentados nessas novas visões que, embora disputassem entre si, iam pavimentando a mais difícil de todas as revoluções: mudar a concepção do lugar em que nós humanos pisamos e estabelecemos nossas estratégias de sobrevivência,



Figura 4 Ilustração da árvore genealógica desde Adão, feita segundo o *Gênesis*, por Hartmann Schedel [1440-1514], em sua obra *Liber Chronicarum*, 1493 (Schedel, 1493).

Figure 4 Illustration of the genealogical tree after Adam, made according to *Genesis*, by Hartmann Schedel [1440-1514], in his work *Liber Chronicarum*, 1493 (Schedel, 1493).

a Terra e, por conseguinte, as esferas subterrâneas e superficiais que a compõem.

Portanto, além dos diferentes bloqueios teóricos gerados pelas concepções teológicas, ainda havia um enorme déficit empírico, pois não havia um método científico bem estabelecido de como fazer para levar os sentidos humanos aonde eles não poderiam estar, ou seja, prolongar a visão até o interior da Terra. Nesse caso, telescópios ou quaisquer outros instrumentos então disponíveis de nada serviriam.

a lenta reforma das esferas terrestres

As novas concepções da Terra esboçadas no século XVII procuravam apresentar uma visão da história, da estrutura e da dinâmica do globo, relacionando-a com alguns fatos observados. Esses fatos ainda não eram fruto de uma meticulosa sistematização de dados coletados em mapeamentos geológicos. Pelo contrário: antes de derivarem da observação da realidade, tais fatos provinham das narrativas bíblicas, como, por exemplo: teria existido o dilúvio de Noé? Que rastros ele teria deixado, caso tivesse ocorrido? Como seria possível explicá-lo de um ponto de vista da estrutura e composição do globo? Os fósseis seriam evidências desse cataclismo? Qual a idade da Terra segundo a narrativa bíblica?

Embora os modelos pudessem ter questões comuns, eles estavam a serviço de diferentes propósitos teológicos e premissas da Filosofia Natural. Uma epistemologia que pudesse dar conta dos fenômenos sublunares era muito mais complexa do que aquela da mecânica que proporcionou a reforma das esferas do mundo supralunar. Assim, muito vagarosamente, os novos modelos das esferas sublunares foram aos poucos cortando o cordão umbilical que os relacionavam à história e à gênese da narrativa mosaica. Pode-se dizer que esses elos só foram mais incisivamente cortados no

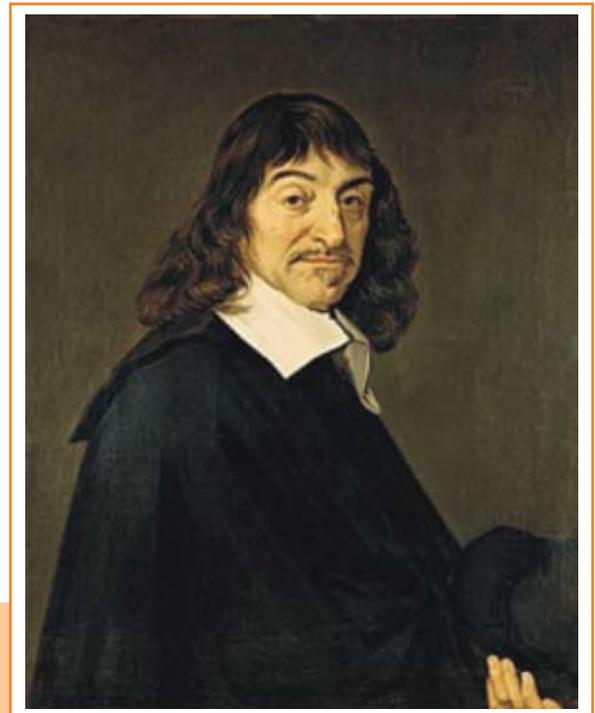
Figura 5 – René Descartes em pintura a óleo feita por Frans Hals em 1648.

Figure 5 – René Descartes painted in oil by Frans Hals in 1648.

século XIX, a partir das teorias de Hutton, Lyell e Darwin. Contudo, essa lenta reforma das esferas terrestres teve suas firmes raízes no século XVII, como veremos a seguir com o modelo e método inaugurado por René Descartes.

entre o cosmos e a *physis*, entre a gênese e a transmutação dos elementos, a invenção da Terra: o desconhecido modelo racionalista-organicista de Descartes

Embora René Descartes (fig. 5) seja notável por sua contribuição à Filosofia e à Matemática (Reale e Antiseri, 1988; Ball, 1908), pouco tem sido comentado na literatura sobre sua contribuição à Física. Slowik (2002), por exemplo, considerou



que a influência de Descartes “no desenvolvimento da Física moderna foi, até a metade do século XX, geralmente subestimada e pouco investigada tanto pelos historiadores quanto pelos filósofos da ciência.” Em biografias minuciosas mais recentes, como a de Gaukroger (2002), encontramos alguma referência positiva sobre a influência de Descartes na Física. Esse autor afirmou, por exemplo, que “Ao lado de suas [de Descartes] leis do movimento, a teoria cartesiana dos vórtices foi o ponto de partida de todos os trabalhos sérios na teoria física em meados do século XVII, inclusive o de Newton” (Gaukroger, 2002, p. 467). Porém, como bem destacou Andrade (2008, p. 17), há uma “ausência da física cartesiana na história da ciência e [no estudo] do pensamento cartesiano”.

Mas menos referido ainda têm sido os apontamentos cartesianos que ajudaram a revolucionar a visão sobre a Terra e a impulsionar uma ciência própria para seu estudo, a Geologia. Poucos historiadores dessa ciência, entre os quais se inclui o francês Gabriel Gohau (1987) e o argentino Telasco Castellanos (1968), dedicaram algumas linhas para referir os esforços pioneiros de Descartes na constituição de uma concepção moderna da Terra. Este último autor afirmou que Descartes “escreveu um admirável tratado de Geologia como parte de sua obra magna *Principia Philosophiae*” (fig. 6) (Castellanos, 1968, p. 25). Outro importante historiador da Geologia do século XX, Frank Dawson Adams, não cita as teses do filósofo francês no livro *The birth and development of geological sciences* (Adams, 1954). Esse manual foi, durante um longo período, uma das poucas referências na área da história da Geologia.

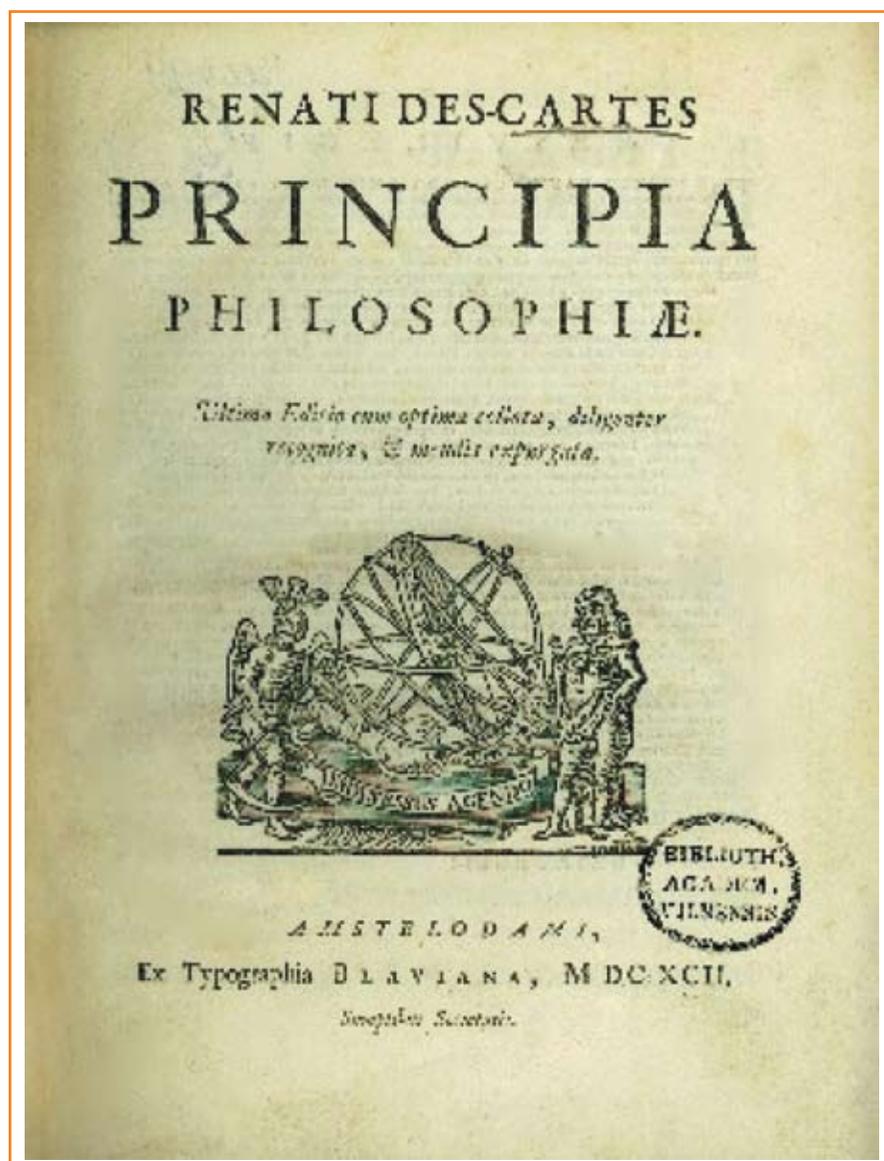
Retrocedendo um pouco mais no tempo, vemos que nem mesmo Charles Lyell dedicou qualquer linha ao modelo cartesiano de formação do planeta Terra e ao método por ele propugnado. Embora tenha reservado quatro capítulos do primeiro volume do *Principles of Geology* para a história das idéias sobre a Terra e o desenvolvimento da Geologia, Lyell nem sequer mencionou o nome de Descartes. Reconheceu o pioneirismo da pesquisa geológica na Itália, por meio dos trabalhos de Steno, onde destacou que o *De solido intra solidum contento naturaliter*, publicado em 1669, foi “o mais importante trabalho publicado no período” (Lyell, 1990, p. 27). Grande parte dos historiadores da Geologia vai repetir essa afirmação de Lyell, sem investigar mais profundamente aqueles que,

como Descartes, influenciaram profundamente as idéias de Steno.

Embora o *Principles of Geology* não cite diretamente Descartes, há uma referência à obra *Protogaea*, do matemático e filósofo alemão Gottfried Wilhelm Leibniz [1646-1716], escrita entre 1691 e 1693 e publicada postumamente em 1749, que trata da Terra primordial e como ela se modificou até chegar ao estágio atual (Lyell, 1990, p. 40). Afirmou ainda que essa tese foi adotada e desenvolvida pelo grande naturalista francês Georges-Louis Leclerc [1707-1788], Conde de Buffon – a quem a literatura historiográfica credits as primeiras idéias sobre a formação da Terra. Contudo, Leibniz não fez mais do que adotar as idéias de Descartes. No interessante livro *O caderno secreto de Descartes*, escrito por Amir D. Aczel

Figura 6
Frontispício do livro *Principia Philosophiae*, publicado em 1644.

Figure 6
Frontispiece of the book *Principia Philosophiae*, published in 1644.



(2007), ficou evidente o quanto Leibniz pesquisou detalhes da obra e da vida de Descartes, mesmo depois da morte deste em 1650.

Um dos mais importantes historiadores da ciência, o italiano Paolo Rossi (2004), diz em seu livro *Clavis Universalis* que a história da ciência eventualmente é montada para esconder certos fatos ou contribuições que em um determinado período são considerados “indesejáveis”. Nosso propósito aqui não é o de investigar por que a contribuição de Descartes tem permanecido eclipsada na história da Geologia, mas entender qual teria sido a mudança na visão da Terra proporcionada por esse pensador francês.

De fato, foi em meados do século XVII que Descartes retomou a possibilidade de conjecturar modelos racionalistas para a formação da Terra, isto é, propor uma gênese e dinâmica terrestre não mais determinadas por deuses, mas sim pelas causas e atributos naturais. Essa visão cartesiana de mundo confrontava-se com a longa tradição medieval (Lindberg, 2002; Crombie, 1995), desenvolvida quer seja pela escolástica aristotélica-ptolomaica, quer seja pela tradição hermética ocultista (Turró, 1985), ou, ainda, pelas cronologias e narrativas mosaicas (Gould, 1999; Repcheck, 2003). Em geral, a historiografia da Revolução Científica trata quase que exclusivamente das reformas das esferas celestes desencadeadas por Copérnico, Bruno, Galileu, Tycho Brahe, Kepler e Newton, com poucas referências sobre a invenção da Terra no século XVII. Seria possível redimensionar o mundo supralunar sem fazer o mesmo

para o sublunar? Isto é, misturar perigosamente as coisas do céu (o éter, o eterno) e da Terra (os elementos, o corruptível, o transmutável)?

Os modelos racionalistas da Terra inaugurados na Antiguidade grega por Tales de Mileto, mas principalmente por Anaximandro (Hahn, 2001; Kahn, 1994) e, depois, por Aristóteles e Ptolomeu (fig. 7), não foram de todo esquecidos durante a longa Idade Média. Mas eles passaram por uma profunda e lenta mutagênese para se adaptarem às exigências dos princípios teológicos e à narrativa histórica do Gênesis. Segundo Lindberg, “a cosmologia aristotélica se modificava para satisfazer as demandas da interpretação bíblica. Ao mesmo tempo, o relato bíblico absorvia os elementos essenciais da cosmologia aristotélica, com suas modificações medievais, e tomava partes substantivas de seu significado da teoria cosmológica contemporânea.” (Lindberg, 2002, p. 317).

Coube a Descartes efetuar os primeiros cortes na visão teísta e deísta da gênese e dinâmica da Terra e retomar a concepção racionalista de mundo encoberta durante um longo período pelos dogmas dos sábios medievais.

Embora a filosofia de Descartes fosse fortemente influenciada pela revolução científica desencadeada por Galileu Galilei, seja no que se refere às mudanças das esferas celestes ou na concepção da matéria e da *physis* (a natureza), não poderíamos dizer o mesmo quanto às idéias sobre a Terra.

Descartes precisou inventar um modelo que considerasse a Terra também um planeta, cuja origem deveria ser a mesma dos demais corpos do cosmos. Além disso, esse corpo deveria ter uma dinâmica própria regulada pelas contingências da *physis*, e os relatos bíblicos não davam conta desses temas. Porém, apenas a *physis* ou o estudo dos elementos não era suficiente para montar um modelo que fosse além do fixismo medieval. Era preciso inserir uma dinâmica natural que fosse capaz de relacionar uma forma perfeita e uma matéria original com as formas irregulares da paisagem atual, onde vemos montanhas e mares e uma diversidade de materiais.

De acordo com os princípios cartesianos, não havia lugar para deuses na *res extensa* – o mundo real deveria ser homogêneo, isto é, tomado por matéria, e regido apenas por leis naturais. Esses princípios contraditavam aqueles da tradição escolástica medieval que propugnava um mundo heterogêneo e hierarquizado: o

Figura 7

Representação do mundo geocêntrico de Aristóteles-Ptolomeu publicada na *Cosmographicus liber*, em 1524, por Petrus Apianus [1495-1552]. O cosmos geocêntrico apresenta-se estruturado em um mundo sublunar, abaixo do círculo da Lua – composto pelos quatro elementos fogo, ar, terra e água. No mundo supralunar situam as sete esferas móveis de Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno. A oitava esfera é a do Firmamento, onde ficam as estrelas fixas. Os sábios medievais acrescentaram, ainda, a nona esfera, o Cristalino, onde habitam os santos, e a décima, o *Primum mobile*, acima da qual está o *Empyreum*, ou morada de Deus.

Figure 7

Representation of the geocentric world of Aristotle-Ptolemy published in *Cosmographicus liber*, in 1524, by Petrus Apianus [1495-1552]. The geocentric cosmos was presented structured in a sub-lunar world, below the circle of the Moon – comprising the four elements fire, air, land and water. In the world beyond the Moon are situated the seven moving spheres; Moon, Mercury, Venus, Sun, Mars, Jupiter and Saturn. The eighth sphere is the Firmament, where the fixed stars are. The medieval intellectuals added a ninth sphere, Crystalino, where the saints live, and a tenth, *Primum mobile*, above which is *Empyreum*, or the dwelling house of God.



sublunar, como sendo o mundo da corrupção da matéria; e o supralunar, com astros perfeitos e incorruptíveis, como preconizado por Aristóteles. Além disso, o mundo com suas qualidades corpóreas e teleológicas seria governado por Deus em todos os detalhes, como era considerado pelo teísmo.

O fundador da filosofia moderna expôs primeiramente sua filosofia natural no livro *Le monde ou Traité de la lumière (O Mundo ou Tratado da luz)*, que escreveu de 1629 a 1633, durante seus primeiros anos na Holanda e publicado primeiramente em Paris, em 1664, com base em uma cópia, e, depois, em 1677, a partir do manuscrito original (Cottingham *et al.*, 2007, p.78-80) (Descartes, 2008; 2007a). Considerada uma mudança revolucionária na história do pensamento científico, essa obra constitui-se em um “esforço para renunciar uma concepção de ciência que se vê como um reflexo da natureza decorrente da observação direta da realidade, isto é, sem considerar nenhuma restrição metodológica” (Andrade, 2008, p. 11).

Porém, quando soube da condenação de Galileu Galilei, havida em 1633, decidiu cancelar a publicação da obra. Mais tarde, resolveu retomar, ampliar e rever os estudos do *Le Monde*, publicando-os no livro *Principia Philosophiae* [1644, *Princípios da Filosofia*], impresso na Holanda cinco anos antes de sua morte. Essa é sua obra mais abrangente, onde não só ampliou e revisou suas concepções sobre a *physis* (Lynes, 1982), incluindo uma parte específica sobre a Terra, mas também expôs o principal de sua filosofia (Marcelino, 1995; Bridoux, 1953a).

Nesse livro, Descartes apresentou um longo tratado sobre a formação da Terra e seus materiais, onde procurou mostrar como o planeta poderia inserir-se em uma gênese comum do cosmos e, ao mesmo tempo, ter sua própria identidade. Essa é uma das dificuldades da física cartesiana, que parece torná-la “obscura” aos olhos de muitos reducionistas, pois enfeixa em sua explicação não só a descrição de como o mundo é, mas também a sua gênese, isto é, de como o mundo surgiu e evoluiu até sua condição atual. Assim Descartes resumiu seu programa estratégico:

“[...] compreenderíamos melhor qual é a natureza em geral de todas as coisas existentes no mundo se pudéssemos imaginar alguns princípios muito inteligíveis e simples, pelos quais compreendêssemos claramente como os astros, a Terra e

todo este mundo visível foram produzidos como se saíssem de sementes (embora saibamos que não foi assim produzido); e assim não o compreenderíamos se o descrevêssemos apenas como é, ou antes, como julgamos que foi criado.” (Descartes, 2007b, Terceira Parte, Artigo 45).

Pensar uma origem da Terra para além do Gênesis sem ceder às postulações herméticas e alquimistas e menos ainda às ateístas não se constituía tarefa fácil. Por isso, Descartes tomou todas as precauções para não ferir susceptibilidades religiosas. Por exemplo, no texto acima, ele teve o cuidado de escrever a advertência: “embora saibamos que não foi assim produzido”. Para tornar possível um pensamento sobre a formação e evolução da Terra, Descartes valeu-se dos seguintes argumentos:

“[...] não duvido que o mundo tenha sido inicialmente criado com a mesma perfeição que agora tem: assim, o Sol, a Terra, a Lua e as estrelas existem desde então; que a Terra não conteve apenas as sementes, mas as próprias plantas que cobriram parte dela; que Adão e Eva não foram criados como crianças, mas com a idade de pessoas adultas. A religião cristã quer que assim acreditemos, e a razão natural persuade-nos inteiramente disto: tendo em conta o poder de Deus, devemos pensar que tudo quanto fez teve toda a perfeição que deveria ter desde o princípio. No entanto, só conheceríamos melhor a natureza de Adão e das árvores do Paraíso se, tal como as crianças se formam paulatinamente no ventre das suas mães, tivéssemos examinado como as plantas saem das suas sementes e se não nos limitássemos a considerar como eram quando Deus as criou!” (Descartes, 2007b, Terceira Parte, Artigo 45).

Estava inventada a possibilidade de pensar a Terra como planeta cuja dinâmica ao longo do tempo poderia ser explicada por leis próprias e não por uma narrativa histórica cataclísmica. Por uma evolução intrínseca às possibilidades da matéria, e não aos caprichos e necessidades de lendas, fantasias ou dogmas.

Para dar conta desse novo assunto, Descartes escreveu sua obra em um estilo próprio de quem está querendo descobrir e investigar o mundo em vez de propalar tradições com base em meros argumentos de autoridade, como faziam os professores escolásticos de La Flèche, a famosa escola jesuítica onde estudou dos 10 aos 17 anos (Bridoux, 1953a; Pessanha, 1987).

A vigia mestra de seu livro, traduzido para o francês ainda em 1647 (*Les principes de la philosophie*; Bridoux, 1953b) para que um público mais amplo também pudesse ter acesso a ele, foi a defesa da identidade da matéria e do espaço como base para explicar o mundo. Essa premissa, por sua vez, conduzia a várias conseqüências imediatas, como: a) o mundo possui uma extensão infinita; b) ele está constituído em todas as partes pela mesma matéria; c) a matéria é infinitamente divisível; d) o vazio é uma noção contraditória e impossível (Reale e Antiseri, 1988, p. 307).

Para tanto, ele organizou seu livro em 504 artigos ou pequenas seções agrupadas em quatro partes. A primeira, intitulada *De principiis cognitionis humanae*, ou *Sobre os princípios do conhecimento humano*. A segunda *De principiis rerum materialium*, ou *Sobre os princípios das coisas materiais*. A terceira *De mundo adspectabili*, ou *Sobre o mundo visível*, um estudo objetivo da composição do universo e movimento dos planetas em vórtices turbilhonares. E, por fim, a Quarta Parte, *De Terra*, ou *Sobre a Terra*, um estudo da gênese, estrutura interna, distribuição dos materiais e fenômenos naturais do planeta.

A singular estrutura do livro mostra coisas essenciais para a filosofia e história da ciência. Primeiro, que para se pensar um novo modelo de mundo, era preciso inaugurar também uma nova epistemologia, como ele propôs na Primeira Parte, que trata da *res cogitans*, ou seja, da cognição e do pensamento. Segundo, era preciso inventariar as questões da matéria e da *physis* (da natureza) de acordo com os avanços proporcionados pela nova maneira de ver e pensar o mundo desencadeada pelas visões não tradicionais. Terceiro, dar conta de um novo cosmos, de acordo com a revolução das esferas celestes como preconizado por Copérnico e, depois, Galileu. Porém, esse cosmos não seria apenas uma descrição do que se vê, mas também uma explicação de como ele surgiu e se transformou ao longo do tempo. Nesse aspecto, Descartes trouxe uma abordagem muito singular do espaço, onde estrelas como o Sol ocupariam um lugar central em torno do qual ocorreria um movimento turbilhão que carregaria consigo os planetas. Quarto, era preciso explicar a Terra no novo contexto epistemológico e cósmico, como feito na Quarta Parte do livro, onde mostrou como a origem e a evolução da Terra explicam seus materiais e relevo atual. No

final dessa Quarta Parte, Descartes tratou ainda do problema dos sentidos e da cognição. Porém, para ele, a obra estaria mais completa se contivesse, ainda, uma Quinta Parte, “tratando das coisas que têm vida, isto é, animais e plantas”, e uma Sexta Parte, “sobre o homem” (Descartes, 2007b, Quarta Parte, Artigo 188).

da variedade de mundos possíveis e o método para reformar as esferas terrestres

Dessa maneira, a Quarta Parte do livro, destinada a explicar a origem, constituição, estrutura e relevo da Terra, procurou estabelecer uma visão radicalmente diferente daquela propugnada pela tradição da história mosaica e da tradição hermética. Como Descartes havia sustentado nas partes anteriores de sua obra, a multitude de mundos teria tido uma origem comum a partir de uma mesma substância, mas a grande variedade de “possíveis mundos” deveu-se a diferentes processos que se seguiram à formação do universo. Aqui residiria uma diferença importante com a tradição da história mosaica: tratar-se-ia de uma sucessão de processos, governada por uma dinâmica intrínseca e exclusiva da matéria, isto é, tratava-se de leis universais da natureza, válida para todos os mundos possíveis, e não uma mera narrativa cujos fatos poderiam ser ajustados ao longo da história. Porém, como dar visibilidade a essas “leis universais” da Terra, que pareciam estar muito distante das explicações da mecânica de Galileu?

Aí residia uma dificuldade metodológica enorme, pois tratar do mundo terreno exigia um método distinto daquele do visível mundo celeste. Para reformar as esferas celestes, Galileu valeu-se do modelo heliocêntrico e da possibilidade de entender os sentidos humanos – a visão – para onde eles não poderiam estar. Ou seja, por meio do telescópio, Galileu projetou a visão atravessando o espaço visível até Júpiter, onde observou suas luas e concluiu que nem todos os corpos celestes orbitavam a Terra – o que refutava o geocentrismo – e que Júpiter no centro da órbita de suas luas era um modelo da mecânica do próprio Sistema Solar. Por meio de um modelo mecânico de revolução dos planetas em torno do Sol, era possível prever a posição de cada astro. Assim, para cada

observação da posição das luas de Júpiter, havia uma explicação no modelo e para cada situação prevista no modelo, era possível obter uma observação que a confirmasse. Esse método de provas e refutações estabelecido por Galileu foi posteriormente desenvolvido pelas epistemologias de Immanuel Kant (1987, 1990) e de Karl Popper (Popper, 1982, 1989).

Porém, como estender os sentidos para o imenso interior planetário? Como fazer conjecturas que pudessem ser confirmadas ou refutadas pelas observações em uma época em que não havia a sismografia ou qualquer instrumento que pudesse sondar as recônditas entranhas planetárias? As quais apenas eram referidas por histórias fantasiosas, mitos e lendas? Para estabelecer uma teoria de acordo com os preceitos do novo método científico, havia no caso da Terra um evidente déficit empírico, ou seja, enquanto as esferas do mundo celeste eram transparentes e visíveis, as do mundo subterrâneo eram opacas e impenetráveis. Para Descartes, esse déficit empírico poderia ser apenas aparente. Se não houvesse apenas uma mecânica do movimento, mas também da matéria, que Descartes chama de “máquina”, pois tem seu devir estabelecido por necessidades que lhes são próprias, numa espécie de “máquina do mundo” (Descartes, 2007b, Quarta Parte, Artigo 188), no sentido que não depende dos sentidos e percepções humanas.

“[...] até agora, descrevi esta Terra e todo o mundo visível em geral, como se fosse apenas uma máquina onde só há a considerar as figuras e movimentos de suas partes, ao passo que os nossos sentidos nos mostram muitas outras coisas, isto é, cores, odores, sons e todas as outras afins que, se absolutamente não as tratasse, pareceria que omiti a explicação da maioria dos objetos existentes na natureza.” (Descartes, 2007b, Quarta Parte, Artigo 188).

Se o mundo pudesse ser concebido como formado por inúmeras sementes (corpúsculos) que se desenvolvem e, posteriormente, formassem uma floresta possível, poderíamos, a partir da floresta ou dos “mundos possíveis” existentes, reconstituir esse desenvolvimento até o estágio inicial. Isto é, o mundo presente é também seu passado, que pode ser reconstituído geometricamente a partir do que vemos, posto que contém sua memória. Uma antecipação da premissa metodológica fundamental para a Geologia divulgada hoje sob o enunciado

“o presente é a chave do passado”. Eis aí o método próprio para superar o déficit empírico e tratar especificamente da Terra, de seu mundo subterrâneo e das coisas que estão em sua superfície, dentro de uma mesma perspectiva cosmológica em relação ao mundo celeste e seus astros. Todo o Universo seria regido por mesmas leis e materiais primordiais que geram diferentes mundos possíveis, constituindo um gigantesco organismo que evolui. O método não é outro senão o método de pensar-se a gênese das coisas, que posteriormente será entendida em termos de uma evolução. Em vez de uma “História da Terra”, Descartes propôs uma gênese ou uma evolução da Terra possível de ser narrada a partir das coisas que vemos. Desse ponto de vista, poderíamos falar em organicismo cartesiano.

como surgiu o mundo e a Terra

Descartes partiu do princípio de que os mundos se tornaram diversos devido a históricos particulares de processos de diferenciação regidos por leis universais. Assim, ele mostrou essa sucessão em termos de um meticuloso modelo em que compôs, passo a passo, a gênese e a estruturação de esferas terrestres subterrâneas e superficiais, que hoje chamaríamos de camadas da Terra.

Para explicar o mundo e sua gênese, Descartes estabeleceu algumas premissas fundamentais, como a de que “todos os corpos que compõem o universo são feitos de uma mesma matéria” (Descartes, 2007b, Terceira Parte, Artigo 46). Também não existiria qualquer vazio, porque sempre haveria uma partícula menor para preencher os espaços entre as partículas da matéria. Descartes concebeu o universo como se fosse um conglomerado matriz suportado de partículas de matéria de diferentes tamanhos e formas:

“Não pode haver espaço vazio em recanto algum do universo; e porque as partículas da matéria são redondas, só poderão unir-se estreitamente se não deixarem pequenos intervalos entre elas, e por isso é necessário que esses pequenos intervalos sejam preenchidos por quaisquer outras partes dessa matéria, que devem ser extremamente pequenas para mudarem continuamente de forma a fim de se adaptarem àquela dos locais onde entram. Assim, devemos pensar que as porções que se sobressaem dos ângulos das partículas da matéria à medida que se arredondam, friccionando-se umas

contra as outras, são tão diminutas e adquirem uma velocidade tão grande que a impetuosidade do seu movimento pode dividi-las em partes incontáveis, as quais, por não terem espessura nem forma determinadas, preenchem facilmente todos os pequenos intervalos por onde outras partes da matéria não podem passar.” (Descartes, 2007b, Terceira Parte, Artigo 49).

Assim, haveria três elementos principais: o primeiro, formado pela infinidade de pequeníssimas

porções resultantes do arredondamento das demais, constitui o Sol e demais estrelas; o segundo, resultou das pequenas partículas redondas e compõe os céus; o terceiro, composto por algumas partículas da matéria que devido à forma e tamanho não podem mover-se tão facilmente quanto os outros, constitui a Terra, os planetas e os cometas. Os céus estariam estruturados por 14 turbilhões, cada qual composto por uma estrela no centro envolta pela rotação da matéria do segundo elemento, como mostra a figura 8.

Mesmo sem uma teoria do átomo e uma mecânica quântica, Descartes tornou coerente uma explicação do universo que conciliou as formas das pequenas partículas corpusculares com a estrutura e movimento dos turbilhões do cosmos, ou seja, entre o mundo incomensuravelmente pequeno e incomensuravelmente grande.

Para explicar a Terra, Descartes supôs que outrora ela tenha sido um astro composto pelo “elemento primeiro”, como o Sol. Embora sendo bem menor que este, também ocupava o centro de um dos 14 turbilhões. Na superfície desse astro, envolto pela matéria em movimento no turbilhão, aglomeraram-se partículas, “dando origem às nuvens e outros corpos mais espessos e obscuros, semelhantes às manchas que continuamente se produzem e desaparecem em volta do Sol” (Descartes, 2007b, Quarta Parte, Artigo 2).

Após essa camada, aglomeraram-se partículas que originaram um “corpo quase semelhante ao ar que respiramos”. Assim o astro transformado em Terra primordial, já quase sem seu turbilhão, “desceu para as proximidades do Sol, onde atualmente se encontra”. A Terra primordial tinha, assim, três

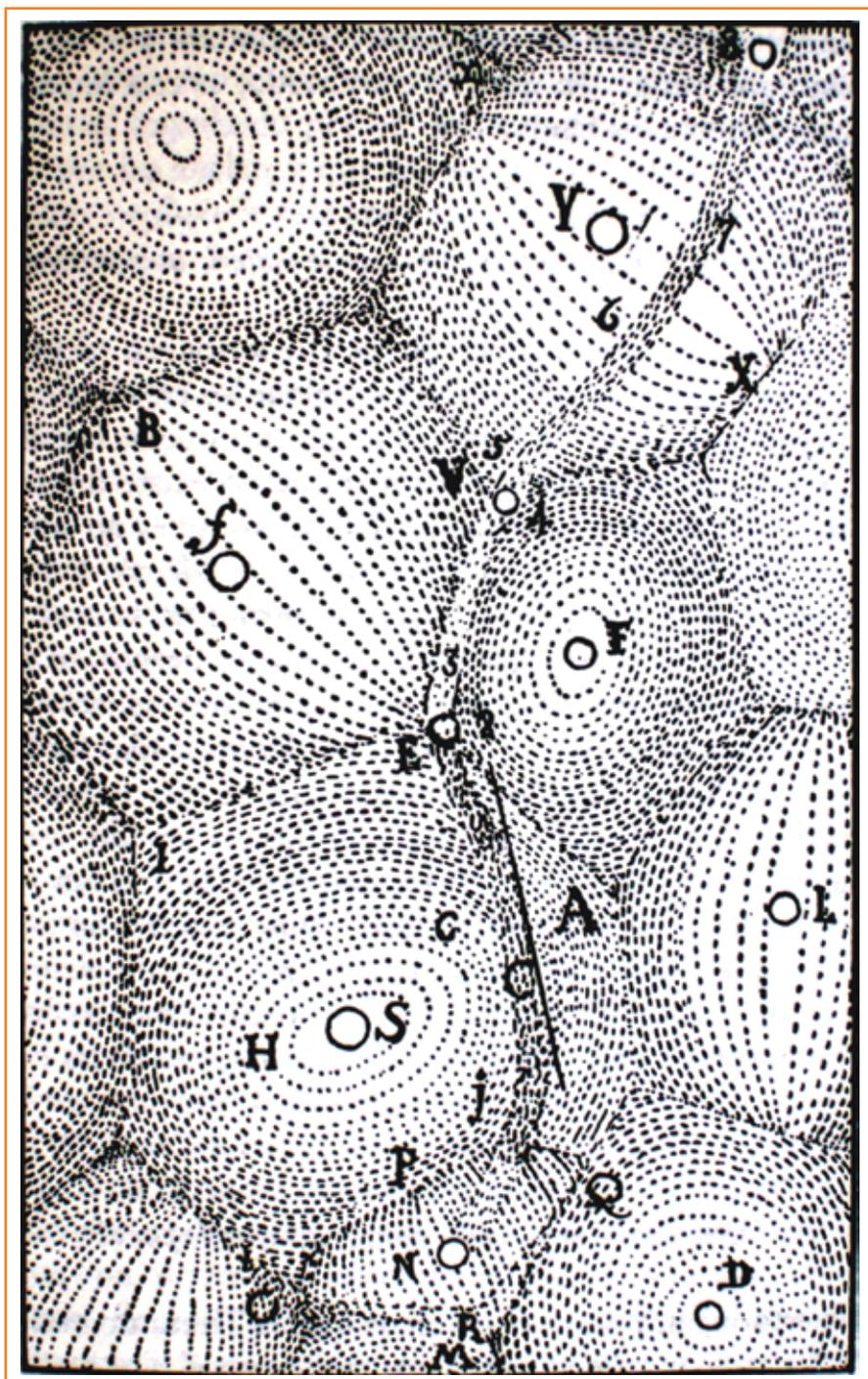


Figura 8 – Primeiro turbilhão tem S como centro e gira no sentido anti-horário AEI; o segundo turbilhão tem F como centro e gira no sentido horário AEV. As interfaces entre os turbilhões tendem a formar pentágonos e hexágonos, ajustando-se perfeitamente e não deixando nenhum lugar para o vazio. Descartes chama cada turbilhão de céu, sendo o “primeiro céu” o que tem como centro S, pois contém a Terra. (Descartes, 1995, Terceira Parte, Artigo 53).

Figure 8 – First vortex has S as the center and turns in an anti-clockwise direction AEI; the second vortex has F as the center and turns in a clockwise direction AEV. The interfaces between the vortices tend to form pentagons and hexagons, adjusting themselves perfectly and not allowing any space for a void. Descartes called each vortex heaven with the “first heaven” because it contains Earth, having S as the center. (Descartes, 1995, Part III, Article 53).

regiões, como ilustrado na figura 9. A mais interior, assinalada pela letra *I*, era formada pelo primeiro elemento, da mesma natureza do Sol. A região intermediária, identificada por *M*, seria constituída por um corpo “opaco, duro e sólido” formado pelas partículas da camada anterior, a exemplo das manchas solares, porém muito mais compactado que estas. O autor assinala que “essas duas primeiras e mais profundas regiões da Terra nos importam pouco, já que nenhum homem vivo desceu até elas” (Descartes, 1995, Quarta Parte, Artigo 5). Porém, o mesmo não se poderia dizer da terceira região, assinalada com a letra *A*, pois nela se formaram “todos os corpos que vemos a nossa volta”.

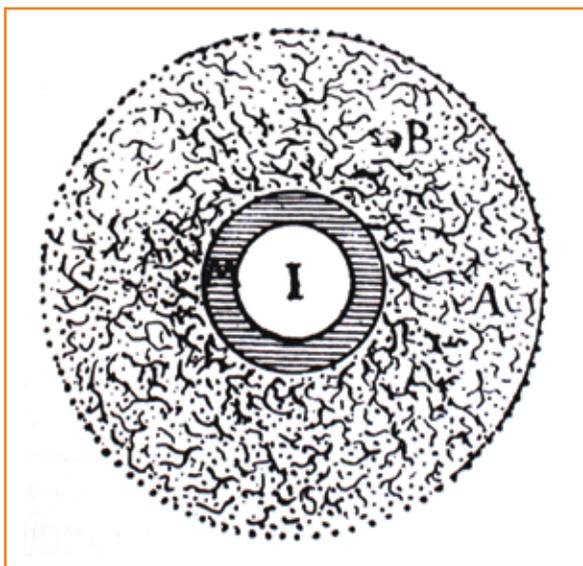


Figura 9 – A Terra primordial e suas três regiões: *I*, a mais interior, *M*, a camada intermediária, e *A*, a camada da atmosfera (Descartes, 1995, Quarta Parte, Artigo 3).

Figure 9 – Primordial Earth and its three regions: *I*, the innermost, *M*, the intermediary layer, and *A*, the layer of the atmosphere (Descartes, 1995, Part IV, Article 3).

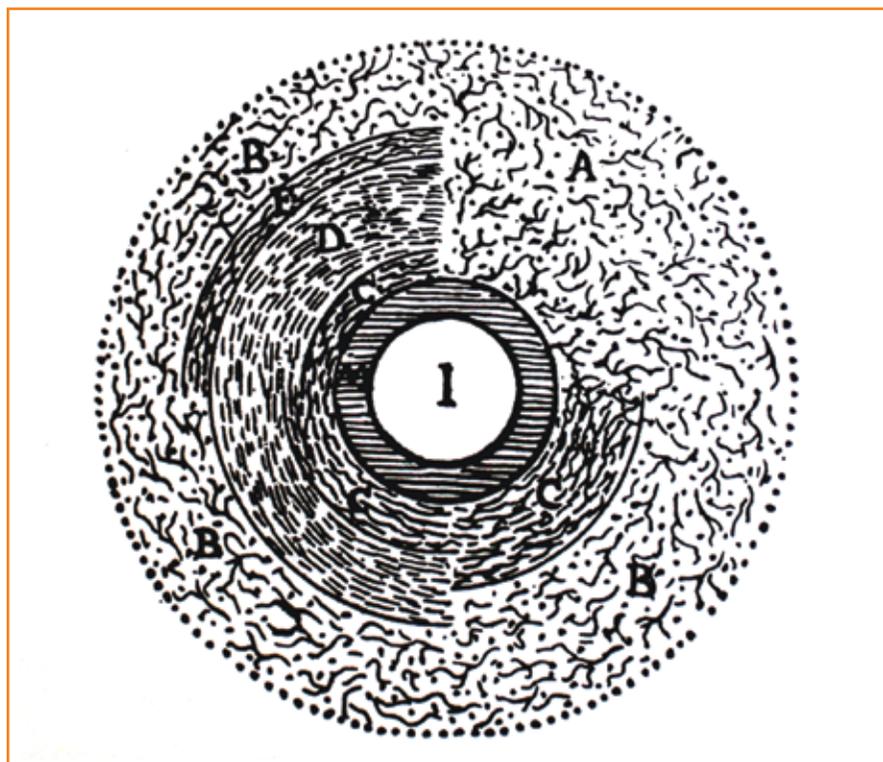
Quando a Terra desceu para as proximidades do Sol, a região mais elevada foi, primeiramente, dividida em dois corpos diferentes (*A* e *B*), depois em três, quatro e sucessivamente em muitos outros.

Descartes explicou em pormenores como se formaram os demais corpos que se originaram a partir da região *A*, que, por limitação de espaço, não poderão ser aqui tratados. De modo geral, esses corpos derivaram do movimento das partículas no turbilhão celeste, da ação da luz e do calor. O movimento das partículas no turbilhão do Sol é que seria responsável pela translação da Terra ao

redor dessa estrela. Assim, não seria a Terra que se move ao redor do Sol, mas ela seria “carregada” pelos corpúsculos turbilhonares, como a corrente da água do rio age sobre um barco.

Assim, a região inicial *A* dividiu-se em dois corpos *B* e *C*, sendo este sólido e opaco e, aquele, líquido e transparente (Descartes, 1995, Quarta Parte, Artigo 32). Posteriormente, formou-se o corpo *D* na interface dos precedentes, constituído tanto por partículas de *C* como de *B*. Esse processo foi gradativo, como ilustrado na figura 10, e, antes do corpo *D* formar-se inteiramente, formou-se um corpo *E*, sólido, espesso e denso, na interface entre *D*, líquido, e *B*, gasoso-líquido.

Enquanto esses corpos iam separando-se e envolvendo toda a Terra, formou-se entre *D* e *E* um espaço tão espesso quanto este último corpo, e que não pode ser preenchido pelos materiais de *B*, sendo assinalado pela letra *F* na figura 11. Assim, o corpo *E* ficou suspenso “como uma abóbada, devido a sua dureza” (Descartes, 1995, Quarta Parte, Artigo 41).



Porém, tempo depois, começou a apresentar fissuras, anotadas pelos números de 1 a 7 na figura 11. Assim, a Terra ficou constituída pelas camadas internas *I*, constituída pelo primeiro elemento como o Sol, *M*, da natureza das manchas solares, *C*, crosta interior sólida donde provêm todos os metais, *D*,

Figura 10

Formação de novas camadas na região *A*, a partir de misturas, movimentos e separações das partículas dos corpos *B* e *C*. Na interface entre *B* e *C*, formou-se o corpo *D*, líquido. *E*, na interface deste com *B*, produziu-se o corpo *E*, sólido (Descartes, 1995, Quarta Parte, Artigos 37-38).

Figure 10

Formation of new layers in region *A*, starting with the mixture, movements and separations of the particles from bodies *B* and *C*. In the interface between *B* and *C*, body *D* is formed, liquid. *E*, in the interface of this with *B*, body *E* is produced, solid (Descartes, 1995, Part IV, Articles 37-38).

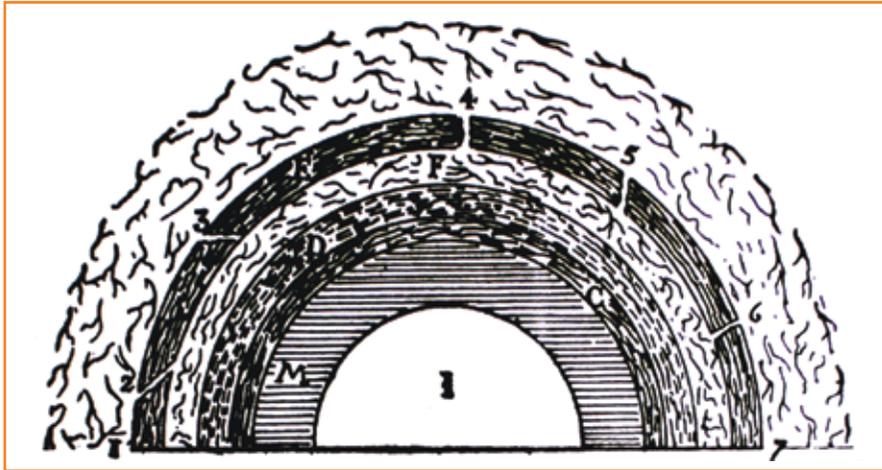


Figura 11
A Terra com as camadas completas. Ver texto para mais explicações (Descartes, 1995, Quarta Parte, Artigos 40-41).

Figure 11
The Earth with the layers completed. See text for more explanation (Descartes, 1995, Part IV, Articles 40-41).

camada líquida interna, *F*, camada de ar interna, *E*, crosta pedregosa externa, menos densa que *C*, contendo fissuras (números 1 a 7), e *B*, a camada e ar mais externa, a atmosfera.

As fissuras da camada *E* tornaram-se cada vez maiores com o passar do tempo, até que houve um afundamento brusco de algumas de suas partes sobre a superfície do corpo *C*, resultando na forma da Terra final, ilustrada na figura 12. Descartes chama a atenção para o fato de seu modelo explicar a formação dos mares, como aquele que comparece sobre o segmento 23 e o 67, das planícies (segmento 8), montanhas e vales (segmento 94V). Nesse modelo final, também ficam evidenciados os mares subterrâneos e cavidades contendo resquícios do antigo corpo *F*.

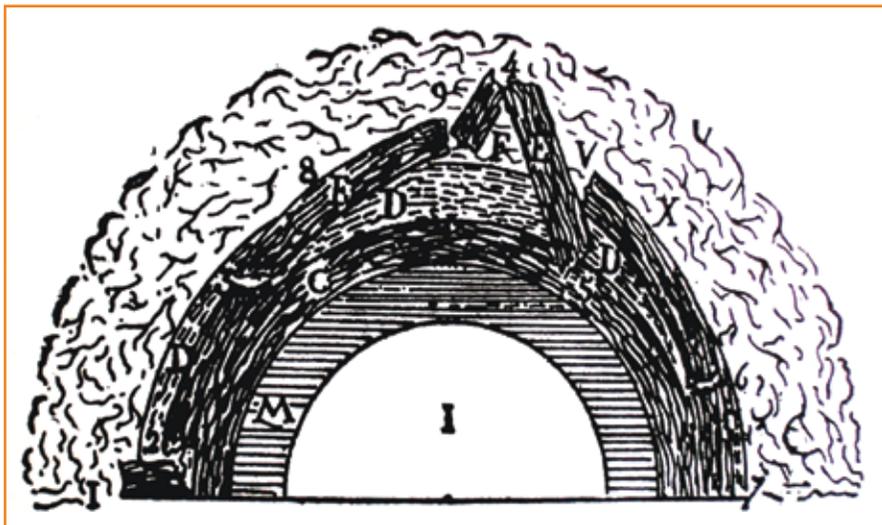


Figura 12 – Forma final da Terra após o colapso de algumas partes do corpo E sobre a superfície do corpo C (Descartes, 1995, Quarta Parte, Artigos 42-44).

Figure 12 – *Final form of the Earth after the collapse of some parts of body E over the surface of body C (Descartes, 1995, Part IV, Articles 42-44).*

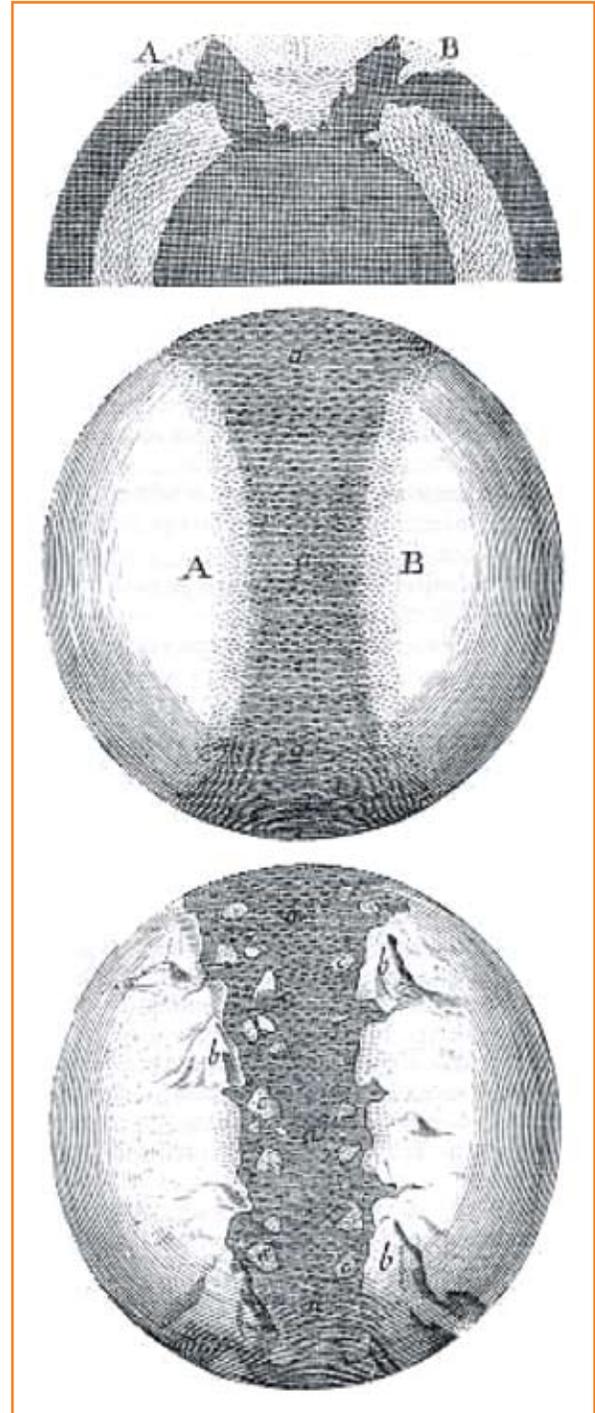


Figura 13 – A fragmentação da camada externa da Terra segundo Thomas Burnet. Embora seguidor das idéias de Descartes, Burnet recolocou o modelo cartesiano dentro dos parâmetros da história mosaica (Burnet, 1691. Cap. X, p. 101).

Figure 13 – *The fragmentation of the external layer of the Earth according to Thomas Burnet. Although a follower of the ideas of Descartes, Burnet replaced the Cartesian model within the parameters of mosaic history (Burnet, 1691. Chapter X, p. 101).*

Embora sem citar Descartes como seu autor, esse modelo de evolução e constituição das esferas interiores da Terra sobreviveu por meio de outros pensadores. O mais famoso deles foi Thomas Burnet [c.1635-1715], capelão do rei William III, da Inglaterra, que publicou parte do modelo em seu livro *Telluris Theoria Sacra (Teoria sagrada da Terra)* em 1681 (fig. 13). Essa obra foi muito difundida por Stephen Jay Gould (1977, 1991) como sendo uma das fontes da Geologia moderna. Mas Gould não referiu Descartes como tendo sido o autor das idéias propaladas por Burnet, e admiradas por Newton.

Mas qual a origem da idéia de que os subterrâneos opacos e incognoscíveis da Terra seriam constituídos por camadas concêntricas? Antes de concluir nosso estudo sobre as raízes da Geologia e do método de estudo da Terra propugnadas por Descartes, vamos inventariar alguns modelos existentes naquela época e antes dela, de modo a traçar possíveis influências na proposição de esferas terrestres subterrâneas.

esferas celestes e infernos medievais antes de Descartes: o ovo cósmico de Hildegard e o dantesco mundo subterrâneo

Os estudos sobre Descartes e a história da Geologia ainda não avançaram suficientemente para traçar a origem da idéia inovadora de Descartes de estruturar os subterrâneos da Terra em camadas concêntricas, que rompeu com a história mosaica. Esboçaremos aqui alguns modelos importantes que podem ter influenciado Descartes.

A idéia de um cosmos organizado por camadas concêntricas como as de uma cebola ou de um ovo fazia parte algumas tradições eruditas dos medievais, como aquelas desenvolvidas pela abadessa beneditina Hildegard von Bingen [1098-1179], que desenvolveu múltiplos estudos sobre Mineralogia, Cosmologia, Medicina, Teologia e compôs muitas peças musicais. Em seu livro *Scivias*,

abreviatura de *Scito vias Domini*, que significa “Conhecer os caminhos do Senhor”, escrito de 1141 a 1151 (Hildegard, 1990), propôs que o universo seria composto de diversas camadas concêntricas com a forma de um ovo. Esse “ovo cósmico” buscava representar o universo como uma estrutura em camadas concêntricas em delicado equilíbrio de sustentação (Newman, 1990, p.28).

Apresentado na forma de descrição de visões, Hildegard (1990) escreveu no *Scivias* a concepção do seu cosmos: “Então eu vi um enorme objeto, arredondado e espectral. Como um ovo, ele estava posicionado para cima.” (fig. 14). As descrições de suas visões eram acompanhadas de ilustrações em miniaturas coloridas e no seu cosmos na forma de ovo pode-se ver que a “camada mais

Figura 14

Hildegard von Bingen desenhou sua visão do cosmos medieval com a forma de um ovo (Hildegard, 1990 [1141-1151]).

Figure 14

Hildegard von Bingen designed her vision of the medieval cosmos in the shape of an egg (Hildegard, 1990 [1141-1151]).



externa era de fogo brilhante [*Empyreum*]. Abaixo dela, assentava-se uma ‘pele escura’. Na camada de fogo brilhante pairava uma reluzente bola de fogo avermelhada [o Sol].” Hildegard (1990) continua descrevendo as camadas concêntricas do seu cosmos, onde, sob a pele escura, viu a esfera etérea com as estrelas e a Lua e, sob essa esfera, viu uma zona mista de ar e água, que ela chamou de “pele clara” ou “água superior”. Logo abaixo, situava-se a esfera de ar e, por fim e no centro, a esfera da terra composta pelos quatro elementos – terra, fogo, ar e água (Roob, 2006; Singer, 1997).

Essa descrição do cosmos de Hildegard é um exemplo da síntese feita pelos sábios medievais entre os modelos gregos e a descrição da Bíblia. A idéia de que há um fogo primordial circundando o cosmos pode já ser encontrada em Anaximandro. Mas, para além da camada de fogo do sol, o filósofo grego disse que havia o *áperion*, de onde tudo se origina (Hahn, 2001; Kahn, 1994). Posteriormente, no cosmos proposto por Aristóteles, essa camada externa desapareceu, para dar lugar a um cosmos composto por esferas perfeitas e concêntricas. Nele, não havia a proposição de uma esfera de “águas superiores”. Porém, o cosmos de Hildegard parece recuperar a proposição de Anaximandro, adequando-a às exigências do Gênesis (1,6):

“Deus disse: ‘Haja um firmamento no meio das águas e que ele separe as águas das águas’, e assim se fez. Deus fez o firmamento, que separou as águas que estão sob o firmamento das águas que estão acima do firmamento, e Deus chamou ao firmamento ‘céu’.”

Essa passagem alude ao fato de que, para os antigos semitas, a abóbada do céu era tida como uma cúpula sólida que retinha as águas superiores. Dessa maneira, o dilúvio de Noé poderia ser atribuído à abertura das comportas do céu, como se pode ler no mesmo Gênesis (7,11):

“No ano seiscentos da vida de Noé, no segundo mês, no décimo sétimo dia do segundo mês, nesse dia jorraram todas as fontes do grande abismo e abriram-se as comportas do céu.”

Assim, a proposição de Hildegard (1990) manteve grande coerência com a descrição do gênesis, ao mesmo tempo em que deu forma e lugar para os diversos elementos da *physis* e componentes do cosmos.

Como podemos ver, o mundo superior ou supralunar era composto por esferas concêntricas,

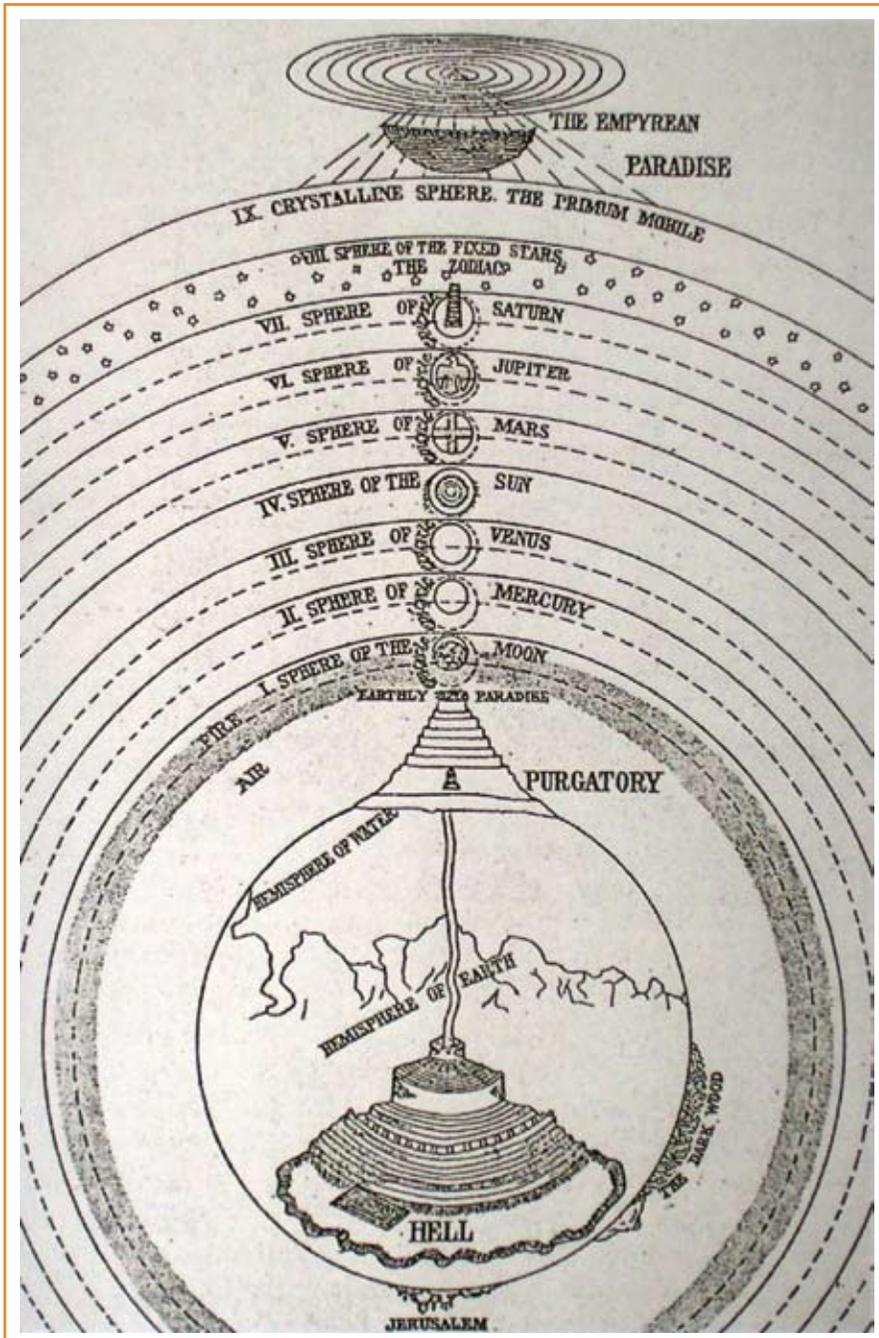


Figura 15 – No cosmos de Dante Alighieri, pela primeira vez, o interior da Terra também foi pensado como parte indissociável da estrutura do mundo. Essa representação foi feita por Michelangelo Cactani (*La materia della Divina Comedia di Dante Alighieri*), em 1855, a partir da descrição da *Divina Comédia*.

Figure 15 – In the cosmos of Dante Alighieri, for the first time, the interior of the Earth was thought of as an inseparable part of the structure of the world. This representation was produced by Michelangelo Cactani (*La materia della Divina Comedia di Dante Alighieri*), in 1855, following the description in *Divine Comedy*.

tanto na tradição dos antigos gregos quanto na da transição da alta para a baixa Idade Média, embora na visão particular da Hildegard elas foram desenhadas com a forma de um ovo. Mas, enquanto a genealogia da estruturação e composição das esferas celestes e da superfície da terrestre pode ser traçada, o mesmo não pode ser dito quanto ao mundo subterrâneo.

Talvez a primeira formulação sobre a estrutura e constituição do mundo subterrâneo tenha sido feita ainda na Idade Média. Um pouco mais de um século e meio depois de Hildegard von Bingen ter escrito seu *Scivias*, Dante Alighieri [1265-1321] escreveu a *Divina Comédia* [1307-1321]. Nessa obra, composta por três livros – *O Inferno*, *O Purgatório* e *O Paraíso* –, Dante organizou o mundo teológico em termos do espaço do cosmos aristotélico-ptolomaico (fig. 15). Se, por um lado, pareceria evidente que o lugar do paraíso devesse ser no lado do transparente e etéreo mundo supralunar, por outro, pouco havia sido dito acerca do lugar do purgatório e do inferno no cosmos.

Num estudo sobre a forma, localização e tamanho do Inferno de Dante Alighieri, Galileu Galilei escreveu em 1588 que

“A ausência de qualquer tipo de narrativa confere grande dificuldade a essa descrição. Para explicar o teatro infernal, era necessário ter um geógrafo e um arquiteto com a mais alta capacidade, como, por fim, nosso Dante provou ter. Se foi ele quem desenvolveu a maravilhosa construção dos céus e tão refinadamente definiu o lugar da terra [no cosmos], tendo sido reputado meritoriamente com o nome de divino, então, pelas razões já dadas, não teria nosso poeta alcançado essa reputação outra vez?” (Galileu, 1588 *apud* Orthofer, 2002).

Assim, o sumo poeta determinou um lugar no cosmos ao obscuro e opaco mundo subterrâneo. Partindo da idéia de que Lúcifer caiu no abismo, imaginando a possibilidade de transpassá-lo, ou seja, conectando-o à estrutura cosmológica aristotélica-ptolomaica do mundo medieval.

Foi Dante Alighieri quem apresentou pela primeira vez a estruturação do mundo de Dite em nove círculos em sua alegórica *Divina Comédia*. A idéia de que o mundo supralunar fosse formado por esferas perfeitas vinha desde Aristóteles. Mas o mundo subterrâneo não tinha forma, desenvolvimento e gênese tão unânimes quanto aquele. Imaginar a estrutura dos subterrâneos era muito mais difícil e perigoso do

que a do transparente céu. Nesse subterrâneo havia fogo, água, cavidades, mas, principalmente, ele era visto como o reino de deuses sombrios e infernais, a exemplo de Hades e Plutão, na Antigüidade, e, depois, de Dite na Idade Média.

conclusões

O modelo de Descartes resolveu quatro importantes problemas: (a) a origem da Terra é a mesma de outros corpos celestes; (b) houve uma separação dos elementos da Terra – ar, água, rochas e fogo – que foi ocorrendo em diversos estágios ao longo do tempo e tais componentes organizaram-se em distintas esferas; (c) uma vez completada a separação das esferas (camadas), houve colapso da camada rochosa; (d) esse colapso explica a forma final irregular da superfície da Terra, com suas montanhas, planícies e oceanos. Assim, o modelo mantém uma coerência formal com o problema da origem das coisas, que deve ser a mesma para toda a *res extensa*, e da atual configuração do mundo percebida pelos sentidos. Esse método resolve o problema do déficit empírico dos modelos do inacessível interior da Terra, bem como para seu passado.

Descartes adicionou um evolução mecânica no modelo que já poderia existir, de certa forma, na tradição hermética. Além disso, avançou os modelos feitos inicialmente pelos gregos, como Anaximandro, de que tudo se originou de um *áperion*.

Para inserir a Terra dentro de uma cosmologia natural e associar sua gênese ao aspecto morfológico e distribuição dos materiais hoje presentes, Descartes precisou de um método próprio, que não estava consignado por aquele levado a efeito para a revolução das esferas celestes. Esse método tem como premissa fundamental a constatação de que o mundo presente é o que é por uma herança do passado das coisas, inscrita numa gênese e evolução do mundo.

Assim, a descrição do mundo presente em termos de uma Geologia física separada de uma história não condiz com a realidade. Os objetos físicos estão inscritos na gênese do mundo e a evolução não tem como ser estabelecida sem os objetos físicos que o constituem. Descartes estabeleceu um método próprio para investigar os

materiais da Terra e sua mutação (ou transmutação) dentro de um contexto genético-evolutivo. Assim, a contradição entre uma Geologia física *versus* uma Geologia histórica acentuou-se à medida que as idéias de Descartes ficaram subsumidas na história da Geologia.

agradecimentos

Dedico este artigo ao grande mestre da tectônica brasileira, o professor Dr. Peter Szatmari, que me ensinou que essa disciplina é também uma forma de pensar o interior da Terra.

Agradeço à professora Dra. Anna Carolina Regner, professor Dr. Attico Chassot, professor Dr. Aldo Mellender de Araujo, professora Dra. Russel T. da Rosa, professor Dr. Lauro Nardi, professor Dr. Luis Carlos Bombassaro (a quem devo as profícuas discussões sobre Hildegard von Bingen) e professor Dr. Francisco Marshall (a quem devo a expressão “déficit empírico”), meus colegas do Grupo Interdisciplinar em Filosofia e História das Ciências, do Instituto Latino Americano de Estudos Avançados da UFRGS e professor Dr. Marildo Menegat, que me impulsionaram na realização desse estudo e ajudaram-me na difícil busca bibliográfica da versão completa do livro *Princípios da Filosofia*. Foi imprescindível a ajuda da bibliotecária Lorete Mattos, da Biblioteca Central da UFRGS, pela localização de obras raras. Igualmente agradeço ao colega geólogo Dr. Edison Milani, pela paciência em aguardar a finalização do manuscrito e pelo sempre renovado incentivo para que a ciência geológica brasileira também saiba pensar sua epistemologia e história.

referências bibliográficas

- ACZEL, A. D. **O caderno secreto de Descartes**. Rio de Janeiro: Zahar, 2007. 229 p.
- ADAMS, F. D. **The birth and development of geological sciences**. New York: Dover, 1954. 506 p.
- ALVAREZ, W. T. **Rex and the Crater of Doom**. Nova Jersey: Princeton University Press, 2008. 216 p.
- ANDRADE, E. Introdução. In: DESCARTES, R. **O Mundo ou tratado da luz**. Tradução de Érico Andrade a partir da edição francesa de 1986. São Paulo: Hedra, 2008. 135 p.
- BALL, W. W. R. **A Short Account of the History of Mathematics**. Nova York: Main Street, 1908. 544 p.
- BLAEU, J. *Blaeu's the Grand Atlas of the 17th Century World*; facsimile. London: Royal Geographical Society; Barnes and Noble, 224 p. 1997.
- BRIDOUX, A. Introduction. In: BRIDOUX, A. (Org.). **Descartes: oeuvres et lettres**. Paris: Gallimard, 1953a. p. 7-24.
- CASTELLANOS, T. G. **Evolución de los conocimientos geológicos desde la edad media hasta el siglo XX**. Córdoba: Academia Nacional de Ciencias en Córdoba, 1968. 61 p.
- CELLARIUS, A. 2006. **Harmonia macroscópica**. Fac-símile organizado por Robert van Gent. Los Angeles: Taschen, 240 p.
- COTTINGHAM, J.; STOOHOFF, R.; MURDOCH, D. Translator's preface. In: . **The Philosophical writings of Descartes**. 19. reimpressão. Nova York: Cambridge University Press, 2007. v. 1, p. 79-80.
- CROMBIE, A. C. **The history of Science from Augustine to Galileo**. Mienola: Dover, 1995. 371 p.
- CUTLER, A. **The seashell on the mountaintop: a history of science, and the humble genius who discovered a new history of the Earth**. Nova York: Dutton, 2003. 228 p.
- DESCARTES, R. Les principes de la philosophie. In: BRIDOUX, A (Org.). **Descartes: oeuvres et lettres**. Paris: Gallimard, 1953b. p. 553-690.
- DESCARTES, R. **Los principios de la filosofía**. Traduzido por G. Quintás a partir da edição francesa de Picot, de 1647. Madrid: Alianza, 1995. 482 p.
- DESCARTES, R. **Princípios da Filosofia**. 2. ed. Traduzido por A. Cotrim e H. da G. Burati a

partir da edição francesa de Gamier. São Paulo: Rideel, 2007a. 288 p.

DESCARTES, R. Principles of Philosophy. Traduzido da edição francesa de Adam e Tannery, 1964-76. In: COTTINGHAM, J.; STOOTHOFF, R.; MURDOCH, D. **The Philosophical writings of Descartes**. 19. reimpressão. Nova York: Cambridge University Press, 2007b. v. 1.

GAUKROGER, S. **Descartes, uma biografia intelectual**. 1. reimpressão. Rio de Janeiro: Eduerj; Contraponto, 2002. 593 p.

GOHAU, G. **História da Geologia**. Lisboa: Europa-América, 1987. 207 p.

GOULD, S. J. **Ever since Darwin**. Nova York: W.W. Norton, 1977.

GOULD, S. J. **O milênio em questão**: um guia racionalista para uma contagem precisamente arbitrária. São Paulo: Companhia das Letras, 1999. 182 p.

GOULD, S. J. G. **Seta do tempo, ciclo do tempo**: mito e metáfora na descoberta do tempo geológico. Traduzido da edição inglesa *Time's arrow, time's cycle; myth and metaphor in the discovery of geological time*, de 1987, por C. A. Malferrari. São Paulo: Companhia das Letras, 1991. 221 p.

HAHN, R. **Anaximander and the architects**. Nova York: University of New York, 2001. 326 p.

HILDEGARD, B. von. **Scivias**. Tradução para o inglês de Columba Hart e Jane Bishop; prefácio de Caroline Walker Bynum e introdução de Barbara J. Newman. Mahwah: Paulist, 1990. 576 p.

HOFFMAN, P. F.; KAUFMAN, A. J.; HALVERSON, G. P.; SCHRAG, D. P. A neoproterozoic snowball Earth. **Science**, Washington, v. 281, n. 5381, p. 1342-1346, 28 Aug. 1998.

KAHN, C. H. **Anaximander and the origins of Greek cosmology**. Indianapolis: Hackett, 1994. 248 p.

KANT, I. **Crítica da razão pura**. 3. ed. Tradução da edição alemã *Kritik der reinen Vernunft*, 1787, de 1956, por V. Rohden e U.B. Moosburger. São Paulo: Nova Cultural, 1987. v.1, 172 p.

KANT, I. **Princípios metafísicos da ciência da natureza**. Tradução da edição alemã *Metaphysische anfangsgründe der naturwisswenschaft* de 1786. Lisboa: Edições 70, 1990. 123 p.

KOLBL-EBERT, M. **Geology and religion**: a history of harmony and hostility. Londres: Geological Society of London, 2009. 360 p.

LEIBNIZ, G. W. **Protogaea**. Traduzida do latim por C. Cohen e A. Wakefield. Chicago: University of Chicago Press, 2008. 204 p.

LINDBERG, D. C. **Los inicios de la ciencia occidental**: la tradición científica europea en el contexto filosófico, religioso e institucional (desde el 600 a.C. hasta 1450). Barcelona: Paidós, 2002. 529 p.

LYELL, C. **Principles of Geology**. Chicago: University of Chicago, 1990. 4 v.

LYNES, J. W. Descartes' Theory of Elements: from Le Monde to the Principles. **Journal of the History of Ideas**, Philadelphia, v. 43, n. 1, p. 55-72, Jan./Mar., 1982.

MARCELINO, I. Introdução. In: DESCARTES, R. **Princípios da Filosofia**. Porto: Porto, 1995. p. 9-33.

MENEGAT, R. (Org.). **Visões da Terra**: entre deuses e máquinas, qual o lugar da humanidade no mundo em que vivemos. Porto Alegre: Museu da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. 96 p.

MUMFORD, L. **A condição de homem**: uma análise dos propósitos e fins do desenvolvimento humano. Tradução de Miranda Reis. Porto Alegre: Globo, 1952. 503 p.

NEWMAN, B. J. Introduction. In: HILDEGARD, B. von. **Scivias**. Tradução para o inglês de Columba Hart e Jane Bishop; prefácio de Caroline Walker Bynum e introdução de Barbara J. Newman. Mahwah: Paulist, 1990. p. 9-54.

PESSANHA, J. A. M. Descartes, vida e obra. In: DESCARTES, R. **Discurso do método; as paixões da alma**. 4. ed. São Paulo: Nova Cultural, 1987. v. 1, p.v-xx.

bibliografia

PICCARDI, L.; MASSE; W. B. (Eds.). **Myth and Geology**. Londres: Geological Society of London, 2007. 360 p. (GSL. Special Publication, 273).

POPPER, K. R. **Conjecturas e refutações**. 2. ed. Tradução da edição inglesa *Conjectures and refutations*, de 1963, por S. Bath. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 449 p. 1982.

POPPER, K. R. **A lógica da pesquisa científica**. 4. ed. Tradução da edição inglesa *The logic of scientific discovery* de 1972 por L. Hegenberg e O. S. da Mota. São Paulo: Cultrix, 1989. 567 p.

REALE, G.; ANTISERI, D. Descartes: “el fundador de la filosofía moderna”. In: **Historia del pensamiento filosófico y científico**. Barcelona: Herder, 1988. p. 305-338.

REPCHECK, J. **The man who found time: James Hutton and the discovery of the earth’s antiquity**. Cambridge: Perseus, 2003. 247 p.

ROOB, A. **Alchemy and mysticism: the hermetic museum**. Los Angeles: Tashen, 2006. 575 p.

ROSSI, P. **A chave universal: artes da memorização e lógica combinatória desde Lúlio até Leibniz**. Bauru: Edusc, 2004. 421 p.

SHELDRAKE, R. **The presence of the past**. Rochester: Park Street Press, 1995. 391 p.

SINGER, C. **From magic to science: essays of the scientific twilight**. Whitefish: Kessinger, 1997. 364 p.

SLOWIK, E. **Cartesian Spacetime**. Dordrecht: Kluwer, 2002.

TURRÓ, S. **Descartes: del hermetismo a la nueva ciencia**. Barcelona: Anthropos, 1985. 439 p.

VAI, G. B. Il testamento di Ulisse Aldrovandi e l’introduzione della parola ‘Geologia’ nel 1603. In: VAI, G. B., CAVAZZA, W. (Eds.). **Quadricentenario della parola Geologia: Ulisse Aldrovandi, 1603**, Bologna. Bolonha: Mineriva Edizioni, 2004. p. 65-110.

COSTA, A. M. A. A gênese das substâncias minerais e o essencialismo em ciência. In: ANES, J. M.; GUEDES, M. E.; PEIRIÇO, N. M. **Discursos e práticas alquímicas**. Lisboa: Hugin, 2002. v. 2, 330 p.

ELLENBERGER, F. **History of Geology: the great awakening and its first fruits – 1660-1810**. Edited by Marguerite Carozzi. Rotterdam: A. A. Balkema, 1999. v. 2, 418 p.

FRANK, A. D. **The birth and development of the geological sciences**. Baltimore: Williams & Wilkins, 1954. p. 226.

GOULD, S. J. **Seta do tempo, ciclo do tempo**. São Paulo: Companhia das Letras. 1992.

GRANGER, G. G. Introdução. In: DESCARTES, R. **Discurso do método: as paixões da alma**. São Paulo: Nova Cultural, 1987. 155 p. (Os pensadores, 1).

OLDROYD, D. **Thinking about the Earth: a History of Ideas in Geology (Studies in the History and Philosophy of the Earth Sciences)**. London: Athlone, 1996. 440 p.

webgrafia

BURNET, T. **The Theory of the Earth:** containing an account of the original of the Earth and of all the general changes which it hath already undergone, or is to undergo till the consummation of all things. 2. ed. Londres: Norton, 1691. Disponível em: <<http://www.uwmc.uwc.edu/geography/burnet/burnet.htm>>. Acesso em: 25 jan. 2008.

DESCARTES, R. **Principia Philosophiae.** Amsterdã: Ludovicum Elzevirium, 1644. 334 p. Disponível em: <http://archimedes.mpiwg-berlin.mpg.de/cgi-bin/toc/toc.cgi?step=thumb&dir=desca_princ_081_la_1644>. Acesso em: 15 jan. 2008.

ORTHOFFER, M. A. Galileo in Hell: looking for a dialogue between science and art. **Complete Review**, v. 3, n. 3, Aug. 2002. Disponível em: <<http://www.complete-review.com/quarterly/vol3/issue3/galileo.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2008.

SCHEDL, H. **Liber Chronicarum.** Nuremberg: Anton Koberger, 1493. 299 folium. Disponível em: <<http://www.beloit.edu/nuremberg/inside/contents/folios.htm>>. Acesso em jan. 2008.

The discovery of the modern Earth by René Descartes: the difficult scientific revolution of the terrestrial spheres

Rualdo Menegat¹

“Things are as they are because they were as they were.”

Rupert Sheldrake, 1995

“What today is evidence was formerly imagination.”

William Blake, 1790

introduction: how the genesis of the Earth become a scientific subject

To investigate the history of Geology is indeed a complex activity. Not only because of the methodological difficulty in reconstructing the density of past time from the fragmentary and sparse evidence, a problem that is also specific to geologists, but by the variety of sources that enable the undertaking of research programs into the planet Earth, appropriated by modern Geology (Menegat, 2008). These overflows have been revealed since the myths and classic rationalism, passing through the occult and religion (Piccardi e Masse, 2007; Kolbl-Ebert, 2009), in addition to countless techniques that enable measurement and the establishment of pragmatic models for the exploitation of natural resources. For those who consider that the tasks of Geology are only the description

of the planet’s materials, the historical sources of this science are those concerning the development of mineral exploitation technologies. In this case, the history of Geology would be no more than a report on the invention of techniques such as geological mapping, the classification of minerals, rocks and fossils, Geophysics, and Geochemistry, among others. However, for Geology to be able to recount the totality of planetary events and understand the genesis and evolution of these events, it became necessary to insert them in a historical perspective. That is, from the possibility of natural evolution of the Earth, given by the character of the matter itself and possible to be established from evidence presently accessible to us. In the West, throughout the long historical period that includes the Middle Ages and a good part of the Modern Age, investigation into the genesis and the history of the Earth belonged almost exclusively to the religious authorities (Kolbl-Ebert, 2009). For this reason, the inclusion of the search for the genesis of the Earth in science has been arduous and recurrently avoided, and these reflections are felt until now. Yet the strong polarity between the ‘physical geology’ and the ‘historical geology’ that has always separated Geology remains evident. The first is considered to be a conglomerate of techniques, appropriate for describing the terrestrial materials ‘objectively.’ The second is seen as a mere narrative,

¹ Federal University of Rio Grande do Sul. Institute of Geosciences. rualdo.menegat@ufrgs.br

anchored in rhetoric and theoretical perspectives, more accustomed to literary novels than to true descriptive science. There were many reasons why this epistemological polarity endured the advent of the nineteenth century, when the bases of contemporary Geology could have been amply developed. One of them refers to the fact that uniformitarian Geology from the *machina mundi* of James Hutton [1726-1797] (Repcheck, 2003) – a thesis that was subsequently stimulated by two of the most brilliant minds of that century, Charles Lyell [1797-1875] and Charles Darwin [1809-1882] – was debased as ‘stories of the Earth’ because they have always been contaminated by theological and mythical tendencies. Even the influential researcher Georges Cuvier [1769-1832], the father of comparative anatomy and catastrophism, had his theses accused of biblical defect. However, aside from the premise of an Earth that is uniform and without cataclysms having influenced Geology excessively in the nineteenth century and almost all of the twentieth, it is completely refuted today. Many theses are admitted as scientific, that previously would be attributed to mere rhetoric, such as those of Professor Walter Alvarez, who proposed the impact of a meteor as being the cause of extinction for dinosaurs (Alvarez, 2008), or the proposition of the so called the Snow ball Earth in the immemorial Neoproterozoic past (Hoffman et al., 1998). Such theses do not meet the necessary up-to-date analogies preached by the restrictive uniformitarian method. The purpose of this article is to investigate the roots of Geology in the seventeenth century, known as the century of the ‘world makers’ or ‘Earth theory makers’, a time during which it was still not possible to separate clearly ‘physical geology’ from ‘historical geology’ or ‘natural theology’. Understanding the genesis and the sources of contemporary Geology, we will be able to see how much the ‘physical’ against ‘historical’ polarity, which so marked the golden phase of Geology of Lyell and Darwin and also the twentieth century, had strong theological reasons that were being renewed at the time. In this search, we will seek to demonstrate that the first scientific theory of the Earth was elaborated by René Descartes [1596-1650] and that, in doing so, he also created a scientific method distinct from that we customarily see drawn in the history of scientific revolution. That is, the invention of modern Earth needed to arrive accompanied by a specific scientific method, which remained hidden

for a long time under the mantle of the success of the scientific methods defended by Francis Bacon [1561-1626] and Galileo Galilei [1564-1642].

the traditional scientific revolution or the reform of the celestial spheres

At the dawn of the seventeenth century, the West experienced an impressive effervescence of ideas that would profoundly mark the thoughts of modernity. The rationalism of René Descartes, the moral philosophy of Baruch Spinoza [1632-1677] and the epistemology of Francis Bacon, for example, gave rise to the Modern Philosophy, while the mechanics of Galileo Galilei and Isaac Newton [1642-1727] would consolidate the scientific revolution of the celestial spheres. The cartography of the world gained luxurious and highly accurate atlases and world maps, including one of the finest history books, the *Atlas Maior* by Joan Blaeu [1596-1673] (fig. 1). Natural Philosophy began to subdivide into specific disciplines and the first Natural History museums began to be inaugurated, impelled by the notable talent of Ulisse Aldrovandi [1522-1605], who coined the word ‘Geology’ in 1603 to designate the science of the Earth, the fossils and the rocks (Vai, 2004). This extraordinary progression of ideas and techniques made from this century on according to Mumford (1952, p. 282), “one of the great epochs of thought throughout the world”.

In the official history of the sciences, made ironic by Stephen Jay Gould [1941-2002] as “Bristol board history”, the Scientific Revolution is only shown in relation to the reforms of the celestial spheres, i.e. to the end of the long tradition of ptolomaic-aristotelic geocentrism. The ideas sown by Nicolau Copérnico [1473-1543] in his book *De revolutionibus orbium coelestium* (*On the Revolution of Celestial Spheres*) in 1543, began to gain a practical dimension, through the new method that came to be called ‘scientific experimentation’.

According to this method, Galileo Galilei would be able to coincide any of his observations of the moons of Jupiter with an orbital model of the

satellites around that planet. Thus, making use of a telescope, it was possible to prolong the projection of vision, and take this human sense where it had not been able not be, that is, close to Jupiter. There, he was able to see a scene that would coincide with the scene expected from the orbital model. Therefore, given the prognosis from the orbital model, it was possible to test it with the observations made through a telescope. In this case, the projection of the vision would be placed without obstacles, given that the celestial spheres are transparent to the prolongation of vision. Accordingly, Galileo showed that not all of the celestial objects orbit the Earth, refuting the geocentric model. Celestial mechanics and the use of telescopic observations to test the postulated models have consecrated the method put into effect by the scientific revolution. Little by little the different celestial models that presented themselves as alternatives to the geocentric model were refuted, with only the one that resisted the observational tests better surviving (fig. 2).

However, in this same period, important changes in the concept of the Earth and the terrestrial spheres were little referred to as an important part of the scientific revolution unleashed in the seventeenth century. Thus, the Scientific Revolution remained synonymous with “the revolution of the celestial spheres”.

The unequivocal fact is that, all of the ideas about the Earth in this century that found themselves strongly controlled by the elders of the Catholic monasteries, began to circulate autonomously, thanks to the reformist movement Martin Luther [1483-1546], began in 1517 following the 95 theses being nailed to the door of the Wittenburg Cathedral. Although the climate of terror and stake burnings predominated, the theological divergence of the West opened up immense breaches in the old scholastic-Aristotelic tradition, and the scientific minds made the most of them to disseminate new visions of the world with one great advantage: they could employ the printing of books. However, the technological advantages of the new media opposed the dangers of the inquisition, among the Catholics, and domino effect betrayal among the Protestants. As one of the greatest intellectuals of the New World, Lewis Mumford (1952, p. 223), mentioned, due to the “inherent tendency towards separation, the Protestant sects were almost as much enemies among themselves, so fiercely intolerant in relation to their divergences, as they had been towards the Catholic Church”.

Although the reform of the celestial spheres has met with strong resistance from the Catholic Church, in the middle of the seventeenth century, the principal question was not so much how to deter it, but what to do to encourage the Holy Church to speak about the world. The new heavenly configuration was already advanced in the minds of the principal leaders of Natural Philosophy and gained autonomy in the principal academic centers of Europe. In addition, the Bible makes little reference to the organization of the universe beyond the moon. The greatest problem resided in the fact that the new ideas were opposed to the tradition of the authority of the clergy, who were publicizing the Aristotelic-Ptolomaic vision so well refined by the efforts of Saint Thomas Aquinas [1225-1274] and the talented Dante Alighieri [1265-1321], whose vision of the world described in *Divine Comedy* was illustrated by many renaissance painters, such as *Chart of Hell*, by Sandro Botticelli [1445-1510] or the *Map of Whole Hell* by Giovanni Stradano [1523-1605] (fig. 3).

Nevertheless, to reform the earthly world, the problems were much greater than only confronting the tradition of the ecclesiastical authorities. The foundations of understanding the sub-lunar world had been rigidly settled in Biblical narratives, in particular Genesis. This narrative was originated from the Septuaginta, or the “Book of the Seventy”, which has been accepted by some authors as the first written version of the Jewish myths that gave rise to the Old Testament of the Bible (Repcheck, 2003, p. 30). At the request of the King of Egypt Ptolemy II, in the year 286 B.C., 72 chiefs of Jewish tribes who were settled there, recorded the history of their people in Greek, the cultured language at that time.

Therefore, there was a history of the Earth narrated in the Book of Moses that would cross many centuries representing the physical, theological and moral truth. In the seventeenth century, this history acquired a new shape through the publication of countless *Biblical Natural History*. In addition to the text, these books presented to the reader impressive reconstructions illustrated picture by picture of the history of the Earth and human genealogy from Adam to Noah as narrated in Genesis (fig. 4). The genealogical mosaic was accompanied by highly accurate maps locating the Biblical places of each era, among other modernities made possible by new printing media and scientific cartography.

*In this scenario, to reform the terrestrial spheres would be an almost impossible effort, if it were not for the strong theological disputes between the Catholics and the Protestants. Both needed to demonstrate the superiority of their theological principles in reference to Biblical texts. On the one hand, the Protestants stated that the Bible should be read *ipsis litteris*. On the other, the Catholics said that many passages from the Sacred Book were allegorical and needed to be considered from different perspectives. The search for 'physical proof' to sustain one or other vision gave impulse to the arrival of fresh concepts about the Earth, which proliferated in countless publications. There were so many new concepts that this century is known as that which "Worlds Makers" (Cutler, 2003). To think of the Earth beyond the Bible, or to seek physical causes for the existence of the universal flood, or even calculate the age of the Earth and account for the origin and nature of the fossils, were some of the more commented themes in these new visions. Despite being in dispute with each other, these would be paving the way for the most difficult of revolutions: to change the concept of the place where we humans tread, and establish our strategies for survival, the Earth and to follow, the subterranean and superficial spheres that comprise it.*

Therefore, further than the different theoretical blocks generated by the theological concepts, there was still an enormous empirical deficit as there was no well established scientific method of how to take the human senses to where they are not able to be; that is, to prolong the vision to the interior of the Earth. In this case neither telescopes nor any other instrument then available served to help.

the slow reform of the terrestrial spheres

The new concepts of the Earth sketched out in the seventeenth century sought to present a vision of the history, the structure and the dynamics of the globe relating it to certain facts observed. These facts were still not the fruit of any meticulous systemization of the data gathered or geological mapping. On the contrary, prior to being derived

from observations of reality, these facts had been taken from Bible tracts, such as for example the existence of Noah's flood. What traces would it have left if it had existed? How would it be possible to explain it from the point of view of structure and composition of the globe? Would fossils be evidence of this cataclysm? What is the age of the Earth according to the Bible narrative?

Apart from the models raising common questions, they were at the service of different theological propositions and premises of Natural Philosophy. An epistemology that could account for the sub-lunar phenomena was much more complex than that of mechanics that provided the reform of the spheres from beyond the moon. Thus, very slowly, the new models for the sub-lunar spheres were, little by little cutting the umbilical cord that connected them to the history and the genesis of the mosaic narrative. It may be said that these links were only cut more incisively in the nineteenth century, following the theories of Hutton, Lyell and Darwin. Nevertheless, this slow reform of the terrestrial spheres had its roots firmly planted in the seventeenth century, as we shall see shortly with the model and method inaugurated by René Descartes.

between the cosmos and the *physis*, between genesis and the transmutation of the elements, the invention of the Earth: the unknown organicist- rationalist Descartes model

Aside from René Descartes (fig. 5) being notable for his contribution to Philosophy and Mathematics (Reale e Antiseri, 1988; Ball, 1908), little has been mentioned in literature about his contribution to Physics. Slowik (2002), for example, considering that the influence of Descartes "in the development

of modern Physics was, up to the middle of the twentieth century, generally underestimated and little investigated both by historians and by science philosophers." In the more recent detailed biographies, such as that by Gaukroger (2002), we find some positive references to the influence of Descartes on Physics. This author confirmed that, for example "Beside his [Descartes'] laws of movement, the Descartes theory of vortices was the starting point for all the serious works on Physics theory in the middle of the seventeenth century, including that of Newton" (Gaukroger, 2002, p. 467). However, as Andrade highlighted (2008, p. 17), there is an "absence of Cartesian Physics in the history of science and [in the study] of Cartesian thought".

Even less mentioned are the references to Cartesian indications that helped revolutionize the vision about the Earth and give impulse to the science appropriate for his study, Geology. Few historians of this science, among whom are included the Frenchman Gabriel Gohau (1987) and the Argentinian Telasco Castellanos (1968), dedicated lines to refer to the pioneering efforts of Descartes in the constitution of a modern concept of the Earth. This latter author confirmed that Descartes "wrote an admirable treatise on Geology as part of his opus magnus *Principia Philosophiae*" (fig. 6) (Castellanos, 1968, p. 25). Another important twentieth century historian of Geology, Frank Dawson Adams, does not cite the theses of the French philosopher in the book *The birth and development of geological sciences* (Adams, 1954). This manual was, for a long period, one of the few references in the area of the history of Geology.

Going back a little more in time, we can see that not even Charles Lyell dedicated any lines to the Cartesian model of the planet Earth's formation or to the method defended by him. Although he had reserved four chapters of the first volume of *Principles of Geology* for the history of the ideas about the Earth, and the development of Geology, Lyell did not even mention the name of Descartes. He recognized the pioneering geological research in Italy, through the works of Steno, where he highlighted that *De solido intra solidum contento naturaliter*, published in 1669, was "the most important work published in the period" (Lyell, 1990, p. 27). A large proportion of the Geology historians are going to repeat this statement by Lyell without investigating deeper those who, like Descartes, would profoundly influence the ideas of Steno.

Although the *Principles of Geology* does not directly cite Descartes, there is a reference to the work *Protogaea*, by the German mathematician and philosopher Gottfried Wilhelm Leibniz [1646-1716], written between 1691 and 1693 and published posthumously in 1749, which deals with primordial Earth and how it was modified until reaching its present stage (Lyell, 1990, p. 40). He also stated that this theory had been adopted and developed by the great French naturalist Georges-Louis Leclerc [1707-1788], Conde de Buffon – to whom historiographic literature credits the first ideas about the formation of the Earth. Notwithstanding, Leibniz did no more than adopt the ideas of Descartes. In the interesting book *Descartes' Secret Notebook*, written by Amir D. Aczel (2007), it was obvious show much Leibniz researched details of the work and life of Descartes, even after his death in 1650.

One of the most important science historians, the Italian Paolo Rossi (2004), said in his book *Clavis Universalis* that the history of science is possibly assembled to hide certain facts or contributions that, for a determined period of time are considered "undesirable". Our purpose here is not that of investigating why the contribution of Descartes has remained eclipsed in the history of Geology, but to understand what would have been the change in the vision of the Earth provided by this French thinker.

In fact, it was in the middle of the seventeenth century that Descartes resumed the possibility of conjecturing rationalist models for the formation of the Earth; that is to propose a genesis and terrestrial dynamic no longer determined by gods, but by natural causes and attributes. This Cartesian vision of the world used to confront with the long medieval tradition (Lindberg, 2002; Crombie, 1995), possibly developed by Aristotelic-Ptolemaic scholars, possibly by hermetic occultist tradition (Turró, 1985), or even by the mosaic chronologies and narratives (Gould, 1999; Repcheck, 2003). In general, the historiography of the Scientific Revolution deals almost exclusively with the reforms of the celestial spheres unleashed by Copérnico, Bruno, Galileo, Tycho Brahe, Kepler and Newton, with few references to the invention of the Earth in the seventeenth century. Would it be possible to resize the world beyond the moon, without doing the same in sub-lunar space? That is, to make a dangerous mixture of heavenly things (the ether

and eternity) with earthly things (the elements, the corruptible and the transmutable)?

The rationalist models of the Earth inaugurated in Ancient Greece by Thales of Miletus, but principally by Anaximander (Hahn, 2001; Kahn, 1994) and later, by Aristotle and Ptolemy (fig. 7), were not totally forgotten during the long Middle Ages. However, they passed through a profound mutagenesis to adapt themselves to the demands of the theological principles and the historical narrative of Genesis. According to Lindberg, "the Aristotelic cosmology was modified to satisfy the demands of the Biblical interpretation. At the same time the Biblical report absorbed the essential elements of the Aristotelic cosmology with its medieval modifications, and took a substantial part of its meaning from the contemporary cosmological theory." (Lindberg, 2002, p. 317).

It fell to Descartes to effect the first cuts in the theological and God-given vision of the Genesis and dynamic of the Earth, and return to the rationalist concept of the world enshrouded for a long time in the dogmas of the medieval wise men.

Although the philosophy of Descartes was strongly influenced by the scientific revolution unleashed by Galileo Galilei, whether referring to the changes in the celestial spheres or to the concept of material and physis (nature), we would not even be able to say the same about the ideas on the Earth.

Descartes needed to invent a model that also considered the Earth to be a planet, whose origin would have to be the same as the other cosmic bodies. Further, this body should have its own dynamic regulated by the contingencies of physis, and the Biblical reports did not take these themes into account. However, only physis or the study of the elements was not sufficient to construct a model that was beyond the medieval fixation. It was necessary to insert a natural dynamic that was capable of relating a perfect form and original material with the irregular shapes of the present landscape, where we can see mountains and oceans and a diversity of materials.

In accordance with the Cartesian principles, there was no place for gods in the *res extensa* – the real world should be homogenous, that is, made of materials and regulated only by natural laws. These principles contradicted those from the medieval scholastic tradition which defended a heterogenic and hierarchical world: the sub-lunar,

as being the world of corruption of the material and beyond the moon, with perfect and incorruptible stars, as extolled by Aristotle. In addition, the world with its corporeal and theological qualities would be governed by God in every detail, as considered by theism.

The founder of modern philosophy first divulged his natural philosophy in the book *Le monde or Traité de la lumière* (The World or Treatise on Light), which he wrote from 1629 to 1633, during his first years in Holland and published for the first time in Paris in 1664, based on a copy and subsequently in 1677, from the original manuscript (Cottingham et al., 2007, p.78-80) (Descartes, 2008; 2007a). Considered to be a revolutionary change in the history of scientific thought, this work constituted an "effort to renounce a scientific concept that is seen as a reflection of nature arising from direct observation of reality, i.e. without considering any restrictions on methodology" (Andrade, 2008, p. 11).

However, when he heard about the condemnation of Galileo Galilei, which took place in 1633, he decided to cancel the publication of the work. Later he resolved to take the work up again, extend it, and review the studies in *Le Monde*, publishing them again in the book *Principia Philosophiae* [1644, Principles of Philosophy], printed in Holland five years before his death. This was his most wide-ranging work, where he not only revised and extended his concepts about physis (Lynes, 1982), including one part specifically about the Earth, but he also portrayed the principle of his philosophy (Marcelino, 1995; Bridoux, 1953a).

In this book, Descartes presented a long treatise on the formation of the Earth and its materials, where he sought to show how the planet could be inserted in a genesis jointly with the cosmos and at the same time, have its own identity. This is one of the difficulties in Cartesian physics, which appears to make it "obscure" to the eyes of many reductionists, because, in his explanation, he bundles not only a description of how the world is, but also his Genesis, i.e. how the world arose and evolved to its present condition. Thus Descartes summarized his strategic program:

"[...] we would understand better what is the general nature of all things existing in the world if we could imagine some highly intelligible and simple principles, through which we could clearly understand how the stars, the Earth and all of

this visible world were produced as if they came from seeds (although we know that it was not so produced); and thus we would not understand it if we were to describe only how it is, or before, how we judge that it was created.” (Descartes, 2007b, Part III, Article 45).

To think of an origin of the Earth that is beyond Genesis, without ceding to the hermetic and alchemistic postulations, much less to those of atheists, does not constitute an easy task. For this reason, Descartes took every precaution not to injure religious susceptibilities. For example, in the above text, he took care to write the warning: “although we know that it was not so produced”. To make possible thought about the formation and evolution of the Earth, Descartes availed himself of the following arguments:

“[...] I do not doubt that the world had initially been created with the same perfection that it now has: thus, the Sun, the Earth, the Moon and the stars have existed since then; that the Earth did not only contain the seeds, but also the plants themselves that cover part of it, that Adam and Eve were not created as children, but having the age of adults. The Christian religion wants us to believe that and natural reason persuades us entirely: taking into account the power of God, we should think that everything done has had all the perfection it should have since the beginning. In the meantime, we would only know the nature of Adam and the trees of Paradise better if, just as children are formed gradually in the uterus of their mothers, we had examined them as the plants grow from their seeds, and if we do not limit the consideration to how they were when God created them!” (Descartes, 2007b, PartIII, Article 45).

The possibility was invented of thinking of the Earth as a planet, whose dynamic through time could be explained by proper laws and not by a cataclysmic historical narrative. Set intrinsic evolution to the possibilities of material and not to the caprices and necessities of legends, fantasies or dogmas.

To account for this new topic, Descartes wrote his work in the singular style of one who wants to discover and investigate the world, instead of divulging traditions based on mere arguments of authority, as did the scholarly teachers at La Flèche, the famous Jesuit School where he studied between 10 and 17 years of age (Bridoux, 1953a; Pessanha, 1987).

*The mainstay of his book, translated into French in 1647 (*Les principes de la philosophie* ;*

Bridoux, 1953b) for a wider public to have access to it, was the defense of the identity of material and space as a basis to explain the world. This premise in turn, led to several immediate consequences, such as: a) the world has infinite extension; b) it is constituted in every part by the same material; c) the material is infinitely divisible; d) the void is a contradictory notion and impossible (Reale e Antiseri, 1988, p. 307).

*For this reason, he organized his book into 504 articles or small sections grouped into four parts. The first, entitled *De principiis cognitionis humanae*, or *On the principles of human knowledge*. The second *De principiis rerum materialium*, or *On the principles of material things*. The third *De mundo adspectabili*, or *On the visible world*, an objective study on the composition of the universe and movement of the planets in whirling vortices. And finally, the fourth part, *De Terra*, or *On the Earth*, a study of the genesis, internal structure, distribution of the materials and natural phenomena of the planet.*

*The singular structure of the book demonstrates points essential to the philosophy and history of science. First, that to think of a new model of the world, it was necessary to inaugurate a new epistemology too, as he proposes in the first part, which deals with the *res cogitans*, that is, with the knowledge and the thought. Second, it was necessary to invent the questions of material and physis (nature) in accordance with the advances provided by the new manner of seeing and thinking about the world unleashed by the non-traditional views. Third, was to account for a new cosmos in accordance with the revolution of the celestial spheres as recommended by Copernicus and later Galileo. However, this cosmos will not only be a description of what is seen, but also an explanation of how it arose and was transformed through time. In this respect, Descartes brought a highly singular approach to space, where stars like the Sun would occupy a central place around which there would be a whirling movement that carries the planets with it. Fourth, it was necessary to explain the Earth in the new epistemological and cosmic context, as done in the fourth part of the book, where he showed how the origin and evolution of the Earth, explain their materials and present relief. At the end of this fourth part, Descartes also deals with the problems of the senses and knowledge. However, for him, the work would be even more complete if*

it had also contained a fifth part, “dealing with the things that have life, that is, animals and plants”, and a sixth part, “on mankind” (Descartes, 2007b, Part IV, Article 188).

on the variety of possible worlds and the method for reforming the terrestrial spheres

In this manner, the fourth part of the book, destined to explain the origin, constitution, structure and relief of the Earth, sought to establish a vision radically different from that defended by the historical mosaic and the hermetic traditions. As Descartes had already sustained in the preceding parts of his work, a multitude of worlds would have had a common origin starting with the same substance, but a great variety of “possible worlds” was due to the different processes that followed the formation of the universe. Here would lie an important difference with the tradition of mosaic history: we are dealing with a succession of processes, governed by an intrinsic and exclusive dynamic of material, i.e. dealing with universal laws of nature, valid for all possible worlds, and not a mere narrative whose facts could be adjusted through history. However, how may we give visibility to these “universal laws” of the Earth, which would appear to be far from the mechanical explanations from Galileo?

There lies an enormous methodological difficulty, since to deal with the Earth would demand a method distinct from that for the visible celestial world. To reform the celestial spheres, Galileo availed himself of the heliocentric model, and the possibility of extending the human senses – vision – to where they had not been able to be. That is, by means of a telescope, Galileo projected his vision crossing visible space up to Jupiter, where he observed two moons, and concluded that not all of the heavenly bodies orbited the Earth – which refutes the theory of geocentrism – and that Jupiter in the center of the orbit of its two moons was a model of the mechanics of its own Solar System. Through a mechanical model of the revolution of the planets around the Sun, it was possible to foresee the position of each heavenly body. Thus, for each observation of the position of the Jupiter moons, there would be an explanation in

the model, and for each situation foreseen in the model, it was possible to obtain an observation that confirmed it. This method of proofs and refutations established by Galileo was subsequently developed by the epistemologies of Immanuel Kant (1987, 1990) and Karl Popper (Popper, 1982, 1989).

However, how can we extend the senses for the immense interior of the planet? How could we make conjectures that could be confirmed or refuted by observation at a time when there was no seismograph, or any instrument that could fathom the recondite bowels of the planet? And these have only been referred to in fantastic stories, myths or legends. To establish a theory in accordance with the precepts of the new scientific method, there was an evident empirical deficit in the case of the Earth; i.e. while the spheres of the celestial world were transparent and visible, those of the subterranean world were opaque and impenetrable. For Descartes, this empirical deficit could have been only apparent. If there were not only a mechanism for movement, but also for material, that Descartes called “machine”, since it has its perpetual motion established by its own necessities, forming a type of “world machine” (Descartes, 2007b, Part IV, Article 188), in the sense that it does not depend on human feelings and perceptions.

“[...] until now, I have described this Earth and the entire visible world in general as if it were merely a machine where one only needs to consider the figures and movements of its parts, whereas our senses show us many other things, i.e. colors odors, sounds and all the other similar sensations, which if left absolutely unmentioned, would give the impression that I had omitted most of the objects existing in nature.” (Descartes, 2007b, Part IV, Article 188).

If the world could be conceived as formed by countless seeds (corpuscles) that develop and subsequently form a possible forest, then starting with the forest or the existing “possible worlds”, we would be able to reconstitute this development back to the initial stage. That is to say, the present world and also its past may be reconstituted geometrically, starting from what we see, inasmuch as it contains its memory. This is in anticipation of the fundamental methodological premise for Geology divulged today with the saying “the present is the key to the past”. That is the appropriate method to overcome the empirical deficit, and deal specifically with the Earth, its subterranean world and the things

that are on its surface, within the same cosmological perspective as the celestial world and its heavenly bodies. The entire Universe will be regulated by the same laws and primordial materials that generate different possible worlds, constituting a gigantic organism that evolves. The method is none other than the method of thinking of the genesis of things, which will subsequently be understood in terms of an evolution. Instead of a “History of the Earth”, Descartes proposed a genesis or an evolution of the Earth to be narrated from the things that we see. From this point of view, we would be able to speak about Cartesian organicism.

how the cosmos and the Earth arose

Descartes started from the principle that the worlds became several because of their specific histories of differentiation processes regulated by universal laws. Accordingly, he showed this succession in terms of a detailed model which comprises the genesis and the structuring of the terrestrial, subterranean and superficial spheres step by step, which we would presently call the Earth's layers.

To explain the world and its genesis, Descartes established some fundamental premises, such as “all of the bodies that comprise the Universe are made of the same material” (Descartes, 2007b, Part III, Article 46). Also, there would not exist any void, because there would always be a smaller particle to fill the spaces between the particles of material. Descartes conceived the Universe as if it were a conglomerate matrix supported by particles of material of different sizes and shapes.

“There cannot be any empty space in any corner of the Universe; and because the particles of material are rounded, they will only be able to join closely if they do not leave small spaces between them, and for this reason it is necessary that these small spaces are filled by some other parts of this material, which must be extremely small so as to change shape continuously in order to adapt to the locations they enter. Accordingly, we must think that the portions that project from the angles of the particles as they become rounded, rubbing against each other, are so diminutive and acquire a velocity so great that the impetuosity of their movement could divide them into uncountable parts, which, because they lack thickness and a determined shape, easily fill all the small spaces

where other parts of material cannot pass.” (Descartes, 2007b, Part III, Article 49).

Thus, there would be three principal elements: the first, formed by an infinity of tiny portions resulting from the rounding of the others, constituted the Sun and other stars; the second, resulted from the small rounded particles and comprises the heavens; the third, comprised of some particles of the material that, due to its shape and size, cannot move as easily as the others, constitutes the Earth, the planets and the comets. The heavens would be structured by 14 vortices, each one comprising one star in the center enveloped by the rotation of the second element material, as shown in figure 8.

Even without the theory of the atom or quantum mechanics, Descartes formulated a coherent explanation of the universe that conciliated the form of small corpuscle like particles with the structure and movement of the vortices of the cosmos; that is between the incommensurably small and the incommensurably large worlds.

To explain the Earth, Descartes supposed that it had formerly been a heavenly body comprised by the “first element”, like the Sun. Although being much smaller, it also occupied the center of one of the 14 vortices. On the surface of this heavenly body, enveloped by the moving material of the vortex, particles agglomerated “giving origin to clouds and other thicker and more obscure bodies similar to the sunspots that continually appear and disappear around the Sun” (Descartes, 2007b, Part IV, Article 2).

After this layer, are agglomerations of particles that originate a “body almost similar to the air we breathe”. Accordingly, the heavenly body transforming into primordial Earth, already almost without its vortex, “came down to be close to the Sun, where it is presently found”. Consequently, the primordial Earth had three regions, as illustrated in figure 9. The innermost, identified by letter I, was formed by the first element, having the same nature as the Sun. The intermediary region, identified by M, would be constituted by an “opaque, hard and solid” body formed by particles from the interior layer, following the example of the sunspots, although much more compacted than them. The author indicates that “these two first, and deeper, regions of the Earth matter little to us, given that no living man has been down to them” (Descartes, 1995, Part IV, Article 5). However, the same could

not be said of the third region, identified by letter A, because there are formed “all of the bodies that we can see around us”.

When the Earth came down to be closer to the Sun, the highest region was firstly divided into two different bodies, (A and B); later into three, four and successively many others.

Descartes explained in detail how the other bodies that originated in region A were formed, Limitation of space precludes proper treatment here. In general, these bodies derive from the movement of particles in the celestial vortices, from the action of light and heat. The movement of particles in the vortex of the Sun is what would be responsible for the removal of the Earth to around this star. Thus, it would not be the Earth that moves around the Sun, but it would be “carried” by the corpuscles from the vortex, as a current of water in a river acts on a boat.

Accordingly, the initial region A divided itself into two bodies B and C, with one being solid and opaque and the other being liquid and transparent (Descartes, 1995, Part IV, Article 32). Subsequently, body D was formed in the interface of the precedents constituted both by particles from C and from B. This process was gradual as illustrated in figure 10, and, before body D was entirely formed, body E was formed, both thick and dense in the interface between D, liquid, and B, gaseous liquid.

While these bodies were separating and involving the entire Earth, a space formed between D and E as thick as this latter body, which could not be filled by material from B, being designated letter F in figure 11. Thus, body E remained in suspense “like a dome due to its hardness” (Descartes, 1995, Part IV, Article 41).

However, some time later, fissures began to appear, noted by figures 1 to 7 in figure 11. In this way, the Earth became constituted by internal layers I, constituted by the first element like the Sun, M, from the nature of sunspots, C, solid interior crusts from whence all the metals come, D, internal liquid layer, F, internal layer of air, E, external rocky crust, less dense than C, containing fissures (numbered 1 to 7), and B, the outer layer and air, the atmosphere.

The fissures of layer E became increasingly large as time passed, until there was a sudden deepening in some places on the surface of body C, resulting in the formation of the final Earth,

illustrated in figure 12. Descartes calls attention to the fact that his model explains the formation of the oceans like that which appears over segments 23 and 67, the plains (segment 8), mountains and valleys (segment 94V). In this final model, the subterranean seas and cavities containing vestiges of the old body F also remain in evidence.

Although Descartes was not cited as the author, this model of evolution and constitution of the interior spheres of the Earth survived through other thinkers. The most famous of them was Thomas Burnet [c.1635-1715], chaplain to King William III of England, who published part of the model in his book *Telluris Theoria Sacra* (Sacred Theory of the Earth) in 1681 (fig. 13). This work was widely divulged by Stephen Jay Gould (1977, 1991) as being one of the sources of modern Geology. But Gould did not refer to Descartes as having been the author of the ideas spread by Burnet, and admired by Newton.

But what is the origin of the idea that the opaque and unknowable subterranean parts of the Earth would be constituted by concentric layers? Before concluding our study on the roots of Geology and the method of studying the Earth defended by Descartes, we are going to take stock of some models existing at that time and before, so as to trace possible influences in the proposition of subterranean terrestrial spheres.

celestial spheres and medieval hells before Descartes: the cosmic egg of Hildegard and the subterranean world of Dante

Studies into Descartes and the history of Geology are still not sufficiently advanced to trace the origin of his innovative idea to structure the underground of the Earth in concentric layers, which breaks with mosaic history. We will sketch some important models here that could have influenced Descartes.

The idea of a cosmos organized in concentric layers like those in an onion or of an egg form part of some erudite traditions from medieval times, such as those developed by the Benedictine Abbess Hildegard von Bingen [1098-1179], who undertook multiple studies into Mineralogy, Cosmology, Medicine, Theology and composed many musical pieces. In her book *Scivias*, an abbreviation of *Scito vias Domini*, which means "Know the Ways of the Lord", written between 1141 and 1151 (Hildegard, 1990), she proposed that the Universe would be comprised of several concentric layers having the shape of an egg. This "cosmic egg" sought to represent the Universe as a structure in concentric layers, in delicate equilibrium of sustentation (Newman, 1990, p.28).

Presented in the form of describing visions, Hildegard (1990) wrote in *Scivias* the concept of her cosmos: "Then I saw an enormous object, rounded and spectral. Like an egg, it was positioned upward." (fig. 14). The descriptions of her visions were accompanied by illustrations of colored miniatures, and in her egg shaped cosmos it may be seen that the "outer layer was of brilliant fire [Empireum]. A "dark skin" was sitting below it. In the layer of brilliant fire, a radiant ball of reddish fire [the Sun] was hovering" Hildegard (1990) continues to describe the concentric layers of her cosmos, where, under the dark skin, she saw an ethereal sphere with the stars and the Moon, and under this sphere, saw a mixed zone of air and water, which she called "light skin" or "higher water". Immediately below was situated the sphere of air and, finally and in the center, the sphere of Earth comprising the four elements – earth, fire, air and water. (Roob, 2006; Singer, 1997).

This description of Hildegard's cosmos is an example of the synthesis made by the medieval intellectuals between the Greek models and the description from the Bible. The idea of a primordial fire surrounding the cosmos could already be found in Anaximander. But beyond the layer of fire of the Sun, the Greek philosopher said that there was the *aperion*, from whence everything originated (Hahn, 2001; Kahn, 1994). Subsequently, in the cosmos proposed by Aristotle, this outer layer disappeared, giving place to a cosmos comprised by perfect and concentric spheres. In this one, there was no proposition for a sphere of "higher water". However

the Hildegard cosmos appears to recuperate Anaximander's proposition, making it appropriate to the demands of Genesis (1,6):

"And God said 'Let there be a firmament in the midst of the waters, and let it divide the waters from the waters.' And God made the firmament, and divided the waters which were under the firmament from the waters which were above the firmament: and it was so. And God called the firmament 'Heaven'."

This passage alludes to the fact that, for the ancient Semites, the dome of Heaven was believed to be a solid cupola that held back the higher waters. From this reading, Noah's flood could be attributed to the opening of Heaven's windows, as may be read in Genesis (7,11):

"In the six hundredth year of Noah's life, in the second month, the seventeenth day of the month, the same day were all the fountains of the great deep broken up, and the windows of heaven were opened."

Thus, the proposition of Hildegard (1990) maintained a great coherence with the description from Genesis, and at the same time gave shape and place to the diverse elements of the physis and components of the cosmos.

As we can see, the superior world beyond the moon was comprised of concentric spheres, both in the tradition of the Ancient Greeks and in the transition from high to low Middle Ages, although in the particular vision of Hildegard they were designed with the shape of an egg. But while the genealogy of the structuring and composition of the celestial spheres and the surface of the Earth may be traced, the same may not be said about the subterranean world.

Perhaps the first formulation of structure and constitution of the subterranean world was still in the Middle Ages. A little more than one and a half centuries after Hildegard von Bingen having written her *Scivias*, Dante Alighieri [1265-1321] wrote the *Divine Comedy* [1307-1321]. In this work, comprising three books – Hell, Purgatory and Paradise –, Dante organized the theological world in terms of space from the Aristotelic-Ptolomaic cosmos (fig. 15). If, on the one hand it would appear evident that the place for Heaven should be on the side of the transparent and ethereal world beyond the moon, on the other hand, little had been said about the place for Purgatory and Hell in the cosmos.

In a study on the shape, location and size of Dante Alighieri's Hell, Galileo Galilei wrote in 1588 that

"The absence of any type of narrative confers a great difficulty on this description. To explain the infernal theater, it was necessary to have a geographer and an architect with the highest capability, as finally our Dante proved to have. If it were he who developed the marvelous construction of the heavens and defined the place of Earth [in the cosmos] in such a refined way, having been meritoriously reputed with the name Divine, then for the reasons already given, would not our poet have reached this reputation again?" (Galileo, 1588 apud Orthofer, 2002).

Thus, the supreme poet determined a place in the cosmos for the obscure and opaque subterranean world. Starting from the idea that Lucifer fell into the abyss imagining the possibility of passing through it; that is to say, connecting it to the Aristotelic-Ptolomaic cosmological structure of the medieval world. The center of the Earth take part of the cosmos.

It was Dante Alighieri who presented for the first time the structure of the world of Dite in nine circles in his allegorical Divine Comedy. The idea that the world beyond the moon was formed by perfect spheres has existed since Aristotle. But the subterranean world did not have form, development or genesis as unanimous as that. To imagine the structure of the subterranean regions was much more difficult and dangerous than for the transparent heavens. In this subterranean region there was fire, water, and cavities, but principally it was seen as the kingdom of the dark and infernal gods, examples being Hades and Pluto, in ancient times and after Dite in the Middle Ages.

conclusions

The Descartes model resolved four important problems: (a) the origin of the Earth is the same as for other celestial bodies; (b) there was a separation of earthly elements – air, water, rocks and fire – which had been occurring in several stages over time and these components organized themselves into distinct spheres; (c) once the separation of the

spheres (layers) was completed, there was a collapse of the rocky layer; (d) this collapse explains the final irregular form of the surface of the Earth, with its mountains, plains and oceans. Accordingly, the model maintains a formal coherence with the problem of the origin of things, which must be the same for the entire res extensa, and the present configuration of the world perceived by the senses. This method resolves the problem of empirical deficit in the models of the inaccessible interior of the Earth, as well as for its past.

Descartes added a mechanical evolution to the model that may have already existed to some extent in the hermetic tradition. In addition, he advanced the models made initially by Greeks, such as Anaximander, that everything originated from one aperiion.

To insert the Earth in a natural cosmology and associate its genesis with the morphological aspect and distribution of materials present today, Descartes needed to construct his own method, which was not appropriate for that put into effect for the revolution of the celestial spheres. This method has as a fundamental premise the statement that the present world is what it is due to the inheritance of things from the past, inscribed in a genesis and evolution of the world.

Thus the description of the present world in terms of physical Geology separated from History does not correspond to reality. Physical objects are written in the genesis of the world and evolution is not able to be established without the physical objects that constitute it. Descartes established his own method to investigate the materials of the Earth and their mutation (or transmutation) within a genetic-evolutionary context. Accordingly, the contradiction between physical Geology and historical Geology becomes accentuated as the ideas of Descartes become assimilated into the history of Geology.

acknowledgements

I dedicate this article to the grand master of Brazilian tectonics, Dr. Peter Szatmari, who taught me both this discipline and also a way to think about the inside of the Earth.

*I thank Dr. Anna Carolina Regner, Dr. Attico Chassot, Dr. Aldo Mellender de Araujo, Dr. Russel T. da Rosa, Dr. Lauro Nardi, Dr. Luis Carlos Bombasaro (to whom I owe the profitable discussions on Hildegard von Bingen) and Dr. Francisco Marshall (to whom I owe the term "empirical deficit"), my colleagues from the Interdisciplinary Group for Philosophy and History of the Sciences from the Latin American Institute for Advanced Studies at UFRGS and Dr. Marildo Menegat, who encouraged me in the carrying out of this study and helped me in the difficult bibliographical search of the complete version of the book *Principles of Philosophy*. The assistance of the librarian Lorete Mattos, from the UFRGS Central Library was indispensable, for the location of rare works. Equally, I thank my Geologist colleague Dr. Edison Milani for having the patience to wait for the finalization of the manuscript and for the constantly renewed incentive so that Brazilian Geological Science may also know how to think about its epistemology and history.*