

HISTÓRICO DA GEOLOGIA

1 TÓPICO

Wilson Teixeira

1.1 Introdução

1.2 O mito Medieval e o embrião da Ciência

1.3 A Revolução Industrial e a consolidação do raciocínio geológico

1.4 A Geologia Moderna

1.4.1. As subdivisões da Geologia

O material desta disciplina foi produzido pelo Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada (CEPA) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP) para o projeto Licenciatura em Ciências (USP/Univesp).

Créditos

Coordenação de Produção: Beatriz Borges Casaro.

Revisão de Texto: Marcia Azevedo Coelho, Marina Keiko Tokumaru e Paulo Barroso.

Design Instrucional: Érika Arena, Fernanda Diniz Junqueira Franco, Gezilda Balbino Pereira, Juliana Moraes Marques Giordano, Marcelo Alves da Silva, Michelle Carvalho, Roberta Takahashi Soledade e Vani Kenski.

Projeto Gráfico e Diagramação: Daniella de Romero Pecora, Leandro de Oliveira, Priscila Pesce Lopes de Oliveira e Rafael de Queiroz Oliveira.

Ilustração: Alexandre Rocha, Aline Antunes, Benson Chin, Camila Torrano, Celso Roberto Lourenço, João Costa, Lidia Yoshino, Mauricio Rheinlander Klein e Thiago A. M. S.

Fotografia: Jairo Gonçalves.



1.1 Introdução

As forças geológicas que transformam o nosso planeta estão ativas permanentemente. De um lado, os agentes externos como o vento, o gelo ou a água superficial atuam incessantemente na remodelação do relevo. De outro, os movimentos profundos da matéria planetária, combinados com o processo global da tectônica de placas, atuam no sentido de construir novas paisagens, transportando massas continentais para novas latitudes, modificando assim a geografia e a topografia de continentes e oceanos atuais, as correntes oceânicas e o clima, influenciando os organismos vivos.

Contudo, as altas montanhas, os vales, os planaltos, as planícies, os alagados, as costas continentais – entre tantas outras paisagens – não servem apenas para nossa contemplação e mostra da incrível beleza natural. Essa diversidade morfológica representa uma longa e complexa história geológica da Terra, como testemunha simbólica da passagem do tempo; mais interessante ainda, representa nichos espaciais ocupados pela evolução biológica, inclusive a civilização humana. Nesse contexto, as rochas, o solo e a água são os recursos fundamentais ao assentamento humano e sua prosperidade.

No mundo moderno, o conhecimento científico e aplicado advindo da Geologia é fundamental para compreender as diversas feições do planeta, ajudando a contextualizar o ser humano ante os processos naturais e suas interações. Considere-se a formação geológica do petróleo, ferro, cobre, fosfato ou até a pedra bruta e seu uso em qualquer sociedade, para se ter um exemplo da importância da prospecção e exploração racional dos recursos naturais. Entre os diferentes fenômenos naturais, o conhecimento do ciclo hidrológico é especial, pois a água é não só o alicerce da vida, mas também influencia as atividades profissionais, sociais e recreativas. Em anos recentes, a Geologia assumiu um papel de destaque no planejamento regional e local de aglomerados urbanos, atuando ao lado de outras especialidades do conhecimento na definição de locais apropriados para descarte de lixo e rejeitos industriais, e na prevenção de acidentes naturais, como deslizamentos de terra ou inundações. Para tanto, faz uso de observações diretas do terreno, de dados de laboratório, além de modelagens teóricas e tecnologias modernas com o emprego de satélites, por exemplo. Ao mesmo tempo, têm sido cada vez mais importantes as áreas emergentes como a Geologia Médica, cujo campo de atuação envolve a natureza e magnitude das fontes naturais ou artificiais de elementos químicos, as avaliações dos riscos ambientais à vida e as situações benéficas à saúde.

A **Geologia** é hoje uma ciência integradora, pois, com base no estudo de processos superficiais e profundos, oferece explicações abrangentes para a compreensão da dinâmica da Terra, ou seja, da sua evolução no tempo e no espaço. Mais importante, sob a visão holística, ela ainda contribui para aprimorar o conhecimento humano em prol da construção de um mundo sustentável, em que o desenvolvimento econômico, social e ambiental seja simultâneo e garanta melhores condições de vida às atuais e futuras gerações.

Esta disciplina apresenta a Geologia sob a óptica sistêmica, considerando o conhecimento da Terra dinâmica, conectando os processos naturais e seus muitos componentes interdependentes. Esses componentes abrangem sua parte sólida (litosfera) mais externa, seus oceanos (hidrosfera e outros corpos d'água) e sua atmosfera. Por outro lado, esses subsistemas interagem de tal forma que uma mudança num subsistema afeta de diferentes maneiras os outros, considerando-se a contínua evolução terrestre nos seus 4,6 bilhões de anos de existência.

Para iniciarmos, será necessário recorrer a conceitos e termos explicados mais profundamente no decorrer dos próximos tópicos, que correspondem, no entanto, a conteúdos normalmente abordados, de forma introdutória, nos programas do ensino fundamental e médio.

Na superfície da Terra, o conjunto das águas, dos ares e das rochas, respectivamente Hidrosfera, Atmosfera e Litosfera, interagem, sob influência da energia solar, redistribuindo esta energia na

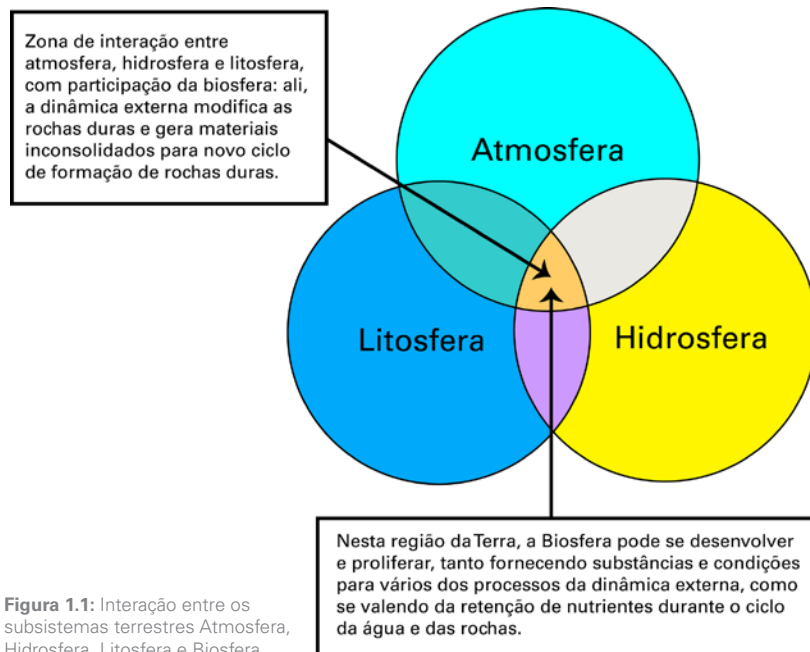


Figura 1.1: Interação entre os subsistemas terrestres Atmosfera, Hidrosfera, Litosfera e Biosfera.

superfície por meio dos fluxos do ciclo da água e do ar, na assim chamada dinâmica externa, que compreende processos de intemperismo (transformação de rochas duras em materiais inconsolidados) e posterior erosão, transporte e sedimentação. Esses fenômenos formam depósitos que serão mais tarde retomados pela dinâmica interna, movida pelo calor interno terrestre, promovendo a tectônica de placas e formando novas rochas metamórficas e ígneas (**Figura 1.1**).

A Biosfera, ou seja, o conjunto de seres vivos, também interage com o Sistema Terra e o afeta de diferentes maneiras; em outras palavras, fatores físicos e mudanças que os subsistemas produzem durante a história geológica são condicionantes da evolução da vida. Assim, como a Terra tem interações complexas entre seus subsistemas, o seu estudo deve incluir necessariamente a compreensão mais abrangente possível dos fenômenos naturais e, no contexto holístico, identificar os elementos-chave que norteiam a relação entre o meio ambiente e o ser humano. Isto é muito importante na atualidade, já que a atividade humana e o aumento populacional, por dependerem diretamente do consumo de materiais naturais e de energia, vêm causando impacto crescente na natureza. Como todos sabem, essa situação vem afetando o delicado equilíbrio entre os subsistemas, o que poderá causar efeitos danosos ao meio ambiente, alterar a nossa cultura e até ameaçar a sobrevivência da nossa espécie, e de todas as outras, no futuro.

O **Ciclo das Rochas** é outro exemplo de um sistema natural (**Figura 1.2**), complementar ao dos seres vivos. Ele ilustra como os processos geológicos internos e externos produzem e reciclam os materiais terrestres sólidos por conta da Tectônica Global, para formar diferentes tipos de rochas, estruturas e feições fisiográficas, conforme será detalhado nos

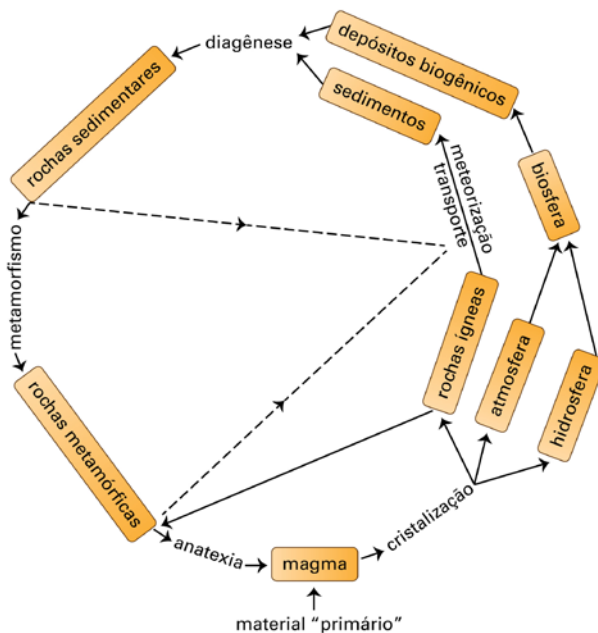


Figura 1.2: Localização dos tipos de rochas, a dinâmica do sistema terrestre e sua estrutura: núcleo, manto, litosfera (biosfera, hidrosfera, atmosfera).

1.2 O mito Medieval e o embrião da Ciência

O caráter dinâmico no nosso planeta é conhecido pelos filósofos e pensadores desde pelo menos cinco séculos atrás e, de forma intuitiva, mesmo desde a Antiguidade. Contudo, efetivamente, foi graças à revolução tecnológica que estamos presenciando, aliada à difusão do conhecimento pelos meios de comunicação (canais televisivos, Internet, *Google Earth* etc.), que se produziu uma nova visão panorâmica da Terra, algo impensável na década passada. Atualmente, é possível acompanhar os processos geológicos praticamente em tempo real. E mais: animações, arte gráfica e vídeos educacionais de acesso livre ao usuário da mídia eletrônica oferecem informações científicas sobre as forças da natureza e seus mecanismos de atuação. Esse quadro permite, mesmo aos não especialistas, a constatação de que ocorrem, na Terra, transformações naturais marcantes de tempos em tempos, com inúmeros exemplos recentes: tornados, terremotos, tsunamis, explosões vulcânicas, deslizamentos de terra, derretimento de geleiras, entre outros fenômenos naturais. Alguém poderia concluir: estará havendo aumento na atividade geológica? Na verdade, não. Apenas o registro dos fenômenos naturais se tornou global e mais acessível ao homem comum pelos meios de comunicação. Embora não possamos impedir que a grande maioria desses fenômenos aconteça, quanto maior for o conhecimento sobre suas causas, maior será a nossa capacidade de prever a gravidade de seu impacto e minimizar suas consequências.

Na era pré-ciência, o mundo parecia estranho e aterrador ao homem; na Grécia Antiga, por exemplo, os fenômenos catastróficos observados, muitos deles incomuns, diante de sua grandiosidade e inexplicável causa, ensejavam ideias sobrenaturais às pessoas sob influência da doutrina religiosa politeísta dominante, ou seja, acreditava-se em vários deuses que possuíam características humanas e dos deuses. O Sol era celebrado como divindade e como símbolo de poder; 500 anos antes de Cristo, os gregos acreditavam que o Sol era o resultado do passeio do deus Hélios pelo céu, a bordo de sua carruagem com cavalos que soltavam fogo pelas narinas. Já para os antigos romanos, antes do nascimento e crescimento do Cristianismo, o deus Vulcano atiçava o fogo subterrâneo, fazendo entrar em erupção os vulcões na superfície; e, para os antigos nórdicos da ilha vulcânica da Islândia, os tremores de terra, quando ocorriam, deviam-se à disputa entre seus deuses. Mais tarde, com a sua conversão ao cristianismo, os nórdicos decidiram que os tremores de terra e os vulcões eram sucursais do inferno. Na concepção medieval, o vulcão Hecla, o mais ativo da Islândia, era a própria porta do inferno.

Contudo, vale lembrar que muitas culturas, há milhares de anos, já tinham intuitivamente noções concretas do mundo geológico, pois operavam as minas, utilizavam minerais e outros recursos naturais, embora não entendessem a sua origem. Na Grécia Antiga, por exemplo, **Tucídides** (460 a 404 a.C.), historiador grego, descreveu, em a *História da Guerra do Peloponeso*, várias batalhas a partir de sua própria experiência como general ateniense, mencionando a derrota do lado mais supersticioso, pois seus soldados entravam em pânico com alguns fenômenos naturais como terremotos, eclipses solares e tempestades, tomando-os como sinais de um desfavorecimento divino. Tucídides, ao contrário, tinha um entendimento mais racional sobre a Terra, tendo oferecido as primeiras explicações de caráter lógico e realista para terremotos e mudanças do nível do mar, influenciando, assim, o pensamento de suas tropas, que podiam livrar-se das crenças sobrenaturais.

Da mesma forma, 600 anos antes de **Aristóteles**, os sacerdotes maias, na América Central, buscando conhecer os mistérios do céu, já representavam as mudanças das estações em alinhamentos de pedras gravadas com o nascer e o pôr do sol, a Lua e os planetas. Esse arranjo geométrico de pedras é considerado o primeiro observatório astronômico no hemisfério ocidental. A propósito, os babilônios, 1500 anos antes de Cristo, já detalhavam os movimentos da Lua e do Sol para elaborar um calendário de 354 dias e para prever os eclipses lunares. São exemplos, entre tantos outros, da iniciativa humana movida pela sua curiosidade, imaginação e criatividade em entender o mundo com o emprego do raciocínio lógico e empirismo, ou seja, pela aplicação do método científico no qual é baseada toda investigação. É por meio do **método científico**, refinado continuamente e vigente até hoje, que a ciência moderna explica o universo físico, e as feições do sistema solar e da Terra podem ser classificadas, explicadas e interpretadas.

Em uma perspectiva histórica, o objetivo da ciência é obter as leis da natureza como um todo. Na Grécia Antiga, para Aristóteles – um dos fundadores da filosofia ocidental e cujo ponto de vista sobre as ciências físicas influenciou, profundamente, o cenário intelectual medieval até o Renascimento (ou seja, do final da Idade Média até o início da Idade Moderna) – o céu era o reino do absoluto. Segundo sua filosofia, a Lua demarcava a fronteira entre dois cosmos: o mundo abaixo dela (a Terra e seus arredores), que continha os quatro elementos fundamentais – terra, água, ar e fogo – em interação; e o acima dela, o domínio celeste (da imutabilidade), onde a Lua, os planetas e as estrelas eram feitos de uma quinta substância – a quintessência ou éter. Essa ideia somente veio a ruir com os estudos astronômicos durante o Renascimento, com a grande revolução científica que alterou radicalmente a visão acerca da ordenação do cosmos, fundamentada

nas leis da mecânica celeste e no poder da razão e da observação ao telescópio. Da mesma forma, os filósofos naturalistas, todos os que tinham espírito aberto, sentiram-se entusiasmados, embora ao mesmo tempo receosos, por vislumbrarem também uma nova fronteira de pensamento sobre o funcionamento da Terra sustentada nas proposições inovadoras de uma nascente ciência, sob o impacto da descoberta do Novo Mundo, de novos métodos cartográficos de representação da Terra, da escavação do subsolo e da catalogação do conteúdo de fósseis nas rochas.

Não deixa de ser impressionante que, há apenas cinco séculos, na era pré-ciência, acreditava-se que a Terra era um objeto maciço, inativo, totalmente imóvel no centro do Universo, como idealizou **Ptolomeu** no século II. Todos os demais objetos – Sol, Lua, planetas e estrelas da esfera celeste – giravam em torno da Terra uma vez por dia. Esse modelo perdurou durante 1500 anos, até ser desfeito pelas descobertas astronômicas de **Nicolau Copérnico**, **Johannes Kepler** e **Galileu Galilei**, nos séculos XVI e XVII. Finalmente, o Sol fora posicionado no centro do sistema solar (teoria heliocêntrica idealizada por Copérnico), contrariando a então vigente teoria geocêntrica (que considerava a Terra como o centro do sistema solar). A mecânica celeste só começou, porém, a ser decifrada de fato depois que **Isaac Newton** formulou a lei da gravidade universal no século XVIII, que explicava a queda dos objetos na Terra e as órbitas celestes. Ao mostrar que a mesma força se estende através do espaço, Newton tornou o cosmo acessível à razão humana; a lei gravitacional serviu de base para explicar o movimento dos planetas em torno do Sol.

No final do século XVIII, o brilhante matemático francês **Pierre Simon de Laplace** proporia o modelo pioneiro para a formação do Sol e da sua corte de planetas, resumizando e ampliando os princípios da mecânica celeste e da gravitação newtonianas. Pierre Laplace não só descreveu o processo de formação planetária, como também provou que uma esfera de matéria girando e encolhendo devido à própria gravidade, eventualmente, se achataria em forma de disco com a maior concentração de matéria no centro. Hoje em dia, há ampla evidência observacional, por meio de telescópios espaciais, de que discos protoplanetários de fato existem em torno de estrelas jovens. Contudo, foi somente a partir dos estudos seminais de Copérnico e dos avanços subsequentes na astronomia e tecnologia instrumental, que o mundo, lentamente, se habituou à vastidão do espaço que nos rodeia e ao fato de que a Terra é meramente um ponto em rotação no cosmos.

No entanto, o avanço nas diferentes fronteiras do conhecimento não se conquista facilmente, uma vez que ele é função de evidências ou percepções e passa por uma longa argumentação com seus críticos. Além disso, tudo isso depende de referências culturais mais amplas, que irão favorecer ou não o debate da descoberta ou evidência que está sendo apresentada à elite cultural.

Se as descobertas ou observações sobre o mundo natural não forem coerentes com os preceitos culturais básicos vigentes, elas poderão ser ignoradas. Em caso extremo, uma ideia pode às vezes ser rechaçada violentamente, a exemplo do que ocorreu durante as inquisições no mundo medieval.

A primeira menção escrita do termo **Geologia** é de **Ulisse Aldrovandi** (1522-1605), professor italiano interessado em filosofia natural. Ele fundou a cátedra de Filosofia Natural de fósseis, plantas e animais, elaborando uma rigorosa taxonomia sem precedentes. Grande empreendedor, concebeu o primeiro Jardim Botânico e, em 1547, criou o Museu de História Natural, destinado a ser um instrumento de ensino pelo uso da visão e do conhecimento. Audacioso para a sua época, separou as ciências da natureza em três áreas de estudo: a Botânica, a Zoologia e, em 1604, cunhou o termo Geologia para definir a ciência que trata dos minerais e fósseis. Mas, por todas essas inovações no estudo do mundo natural, Aldrovandi foi acusado de heresia e preso em Roma em 1549.

Durante os séculos XVI a XVIII, a força do Cristianismo na Europa era tal que a interpretação literal da Bíblia, dominada pela doutrina do **fundamentalismo**, influenciava as explicações sobre a dinâmica da Terra e sua história, ou seja, acreditava-se que catástrofes globais teriam lapidado as diferentes faces do mundo natural, e isso ocorria desde antes dos gregos. Mesmo assim, não deixou de persistir o culto à razão para a descrição dos fenômenos naturais. Por exemplo, **Leonardo da Vinci** (1452-1519), contrastando com o dogma religioso vigente, deduziu como os fósseis são preservados por meio da observação atenta do que acontecia ao seu redor: ele viu os moldes característicos nas rochas que pareciam com as conchas encontradas nos litorais, observou que os rios traziam grande volume de lama até o mar, onde se acumulavam. Juntando todas as evidências, da Vinci concluiu que os fósseis representavam vestígios petrificados de organismos, que viveram outrora no mar e mais tarde foram soterrados por lama dos rios para serem integrados à rocha. De maneira sagaz, ele percebeu o contexto do mundo natural sem precisar evocar o poder dos deuses, como faziam os povos da Idade Média, para explicar a origem dos fósseis. Contudo, mesmo tendo sido aceito que os fósseis fossem restos de organismos que tinham habitado a Terra, nos continentes ou nos oceanos, pois nunca fora surpresa a presença de fósseis de plantas, animais e de outras criaturas marinhas nas camadas rochosas, uma vez mais a explicação para esse fato veio da interpretação literal da Bíblia através do Dilúvio Universal. Essa hipótese, aliás, de que as águas do Dilúvio Universal cobriram as montanhas e destruíram toda a vida da Terra, dominaria o pensamento de naturalistas até o final do século XVIII.

Ainda no século XVI, estava em curso mais outra variante realista acerca da complexidade do mundo natural, liderada pelo filósofo inglês **Francis Bacon** (1561–1626), firmemente centrada no método científico e no *empirismo*. Por isso mesmo, Bacon (**Figura 1.3**) foi



Figura 1.3: Francis Bacon.

considerado “o fundador da ciência moderna”, tendo sido um dos atores da revolução científica em curso, com visões inovadoras da filosofia na Europa de então, ao lado de outros grandes nomes, como Galileu Galilei, **Giordano Bruno** e **René Descartes**. Bacon descreveu em seus escritos o ajuste notável das linhas de costa entre os continentes da África, das Américas e da Europa, suspeitando que as massas continentais se teriam movido de algum modo. Contudo, faltavam-lhe os argumentos científicos que dessem suporte à sua constatação sagaz, de modo que a ideia não recebeu o merecido crédito. Da mesma forma, quando o cientista alemão **Alfred Wegener** – considerado o herói da geologia moderna – for-

mulou sua clássica **teoria da Deriva dos Continentes**, no início do século XX, ela foi considerada uma “fantasia” por seus críticos, uma vez que não oferecia uma explicação plausível para o mecanismo de movimento das gigantescas massas continentais rígidas. Somente por volta de 1960, com os avanços alcançados no campo da geologia e geofísica, provou-se que a hipótese de Wegener fazia sentido, agora contextualizada numa visão planetária sistêmica, denominada *tectônica de placas*.

De outra parte, o primeiro ensaio “científico” do interior da Terra deve-se ao jesuíta alemão **Athanasius Kircher** (1601–1680), famoso por sua versatilidade de conhecimentos e particular habilidade no trato das ciências naturais (**Figura 1.4**). Sendo um de seus interesses, ele tentou descobrir o poder subterrâneo dos vulcões Etna e Stromboli (Itália), então em erupção, especialmente influenciado pelos fenômenos provocados pela assustadora erupção do Vesúvio (1630) na região de Nápoles. Em sua obra *Mundus Subterraneus*, publicada em 1666, apresentou os nexos entre eventos subterrâneos e superficiais naturais para formar vulcões – uma abordagem audaciosa para a época por não ter qualquer influência



Figura 1.4: Athanasius Kircher.

mística. Segundo Kircher, o interior da Terra tinha bolsões contendo “fogo”, interconectados por condutos. Quando estes alcançavam a superfície, a lava irrompia para formar os vulcões. Mas, para muitos naturalistas, era preciso comprovar a verdade da natureza por meio das narrativas bíblicas, cujo dogma predominava na Europa, de modo que essa visão destoante sobre os eventos naturais acabou por ser esquecida com o tempo.

Nicolau (Niels) Steno (1638-1686) (**Figura 1.5**), contemporâneo de Kircher, reforçaria o raciocínio científico em outra frente de estudo: a da origem natural dos fósseis e os princípios de uma nova ciência – a Geologia. Apesar de ter sido criado inicialmente na fé luterana, foi suficientemente audaz para confiar nas suas observações fundamentadas na anatomia, mesmo quando estas diferiam das doutrinas tradicionais. Contudo, a sua conversão ao catolicismo fez com que gradualmente pusesse de lado os seus estudos científicos. Em sua obra mais importante (1669) – o “Pródromo de um sólido contido naturalmente dentro de outro sólido” – mostrou que as “línguas petrificadas” (popularmente conhecidas como *glossopetrae*), encontradas em algumas rochas, eram semelhantes anatomicamente a dentes de tubarão, o que observara após dissecar a cabeça de um desses animais; assim, deveriam ser provenientes das bocas de antigos tubarões, que haviam sido enterrados em lodo e areia e se petrificaram. Para os autores romanos porém, como **Plínio – o Velho** (23 a.C. – 79 a.C.), tais pedras peculiares haviam caído do céu. Outros eram de opinião, também ela antiga, que os fósseis cresciam naturalmente nas rochas. Athanasius Kircher, por exemplo, atribuía a existência de fósseis a uma virtude própria do geocosmo.



Figura 1.5: Nicolau Steno.

Os “corpos sólidos dentro de sólidos”, que atraíram o interesse de Steno, incluíam não apenas fósseis, mas também estratos rochosos. Seus estudos descrevem as camadas rochosas da região do vale do rio Arno, na Toscana (Itália), desenhadas por Leonardo da Vinci, reconhecendo também que elas teriam sido depositadas originalmente no fundo dos mares; mais tarde, interpretou ele, os organismos marinhos que aí viviam foram soterrados por sedimentos, endurecidos, e se tornaram rocha. Além disso, propôs a “**lei da superposição**”, segundo a qual os estratos rochosos se sucedem uns aos outros, e os que estão mais em cima da pilha sedimentar são mais novos que os que estão embaixo (**Tabela 1.1**). Mais importante,

Steno fez uma das maiores descobertas da ciência moderna: que as camadas rochosas e seus fósseis retratam a memória da Terra e, por meio de sua reconstrução geométrica, é possível narrar uma história natural do mundo. Em outras palavras, ele estabeleceu os três princípios geológicos, que regem a organização de camadas sedimentares na natureza (**Tabela 1.1**). Esses princípios, apesar de óbvios, não foram adotados facilmente no clima intelectual de transição entre o mundo medieval e o moderno na Europa do século XVII.

Princípio geológico	Características do fenômeno
1. Superposição Permite identificar a ordem de formação dos estratos, fundamental para a reconstrução histórica de rochas estratificadas	Sedimentos (material inconsolidado) acumulam-se em camadas no fundo de bacias de deposição (mares, lagos ou rios); as mais antigas posicionam-se na base e as mais novas sucessivamente acima.
2. Horizontalidade original Permite identificar eventos deformacionais posteriores à disposição sedimentar	Depósitos sedimentares acumulam-se geralmente em camadas horizontais e/ou sub-horizontais.
3. Continuidade lateral Permite reconstruir a distribuição geográfica original de uma camada dissecada pela erosão por meio da correlação física dos seus vestígios	Camadas sedimentares são naturalmente contínuas, estendendo-se até as margens da bacia de deposição ou afinando-se lateralmente.

Tabela 1.1: Os três princípios geológicos de Niels Steno para a história natural da Terra.

1.3 A Revolução Industrial e a consolidação do raciocínio geológico

Desde o século XVII, a Europa vivia um desenvolvimento filosófico, cultural e artístico sem precedentes na história. Filósofos, escritores, pintores e inventores faziam parte do Iluminismo – eles acreditavam que mentes fortes e a divulgação da verdade e da razão pudessem afastar a ignorância do mundo, que para eles era a raiz de todo o mal. A racionalidade tornou-se uma nova doutrina, o dogma cultural. Contudo, foi a **Revolução Industrial** – um conjunto de mudanças tecnológicas com profundo impacto no processo produtivo em nível econômico e social – iniciada na Inglaterra, em meados do século XVIII, que causou a mais exuberante mudança social, como que preparando as mentes para um dos maiores marcos científicos da humanidade – a consolidação do raciocínio geológico.

No limiar da Revolução Industrial, a ciência já havia assumido seu papel de ser a forma mais concreta de compreender a Terra e o cosmos. Mas ainda era preciso encontrar uma lei geral para explicar o funcionamento do planeta, cujas teorias abrangiam diferentes campos do saber, e

também que atendesse à crescente demanda por matéria-prima (bens minerais), como exigia a nascente industrialização. Ao mesmo tempo, convivia-se ainda com as visões do mundo natural interpretadas à luz do relato bíblico da separação das terras e das águas durante a Criação; na segunda metade do século XVIII, muitos ainda acreditavam que a origem das rochas ígneas se devia à precipitação das águas do mar primordial que cobrira toda a Terra, daí a razão do nome **Netunismo** para essa ideia, em homenagem a Netuno, o deus do mar na mitologia romana. **Abrão Gottlob Werner**, renomado professor da Academia de Minas em Freiberg (Alemanha), foi o mais influente defensor dessa doutrina netunista, de modo que essa abordagem histórica da geologia permaneceria fortalecida até meados do século XIX.

A maneira moderna de observar a Terra começou na Escócia, no fim do século XVIII, mais precisamente em Edimburgo. Este era o centro do Iluminismo escocês, que incluía homens brilhantes e cultos, cujas ideias e atitudes tornaram possível a Revolução Industrial, a exemplo de James Watt, inventor da máquina a vapor, Joseph Black, químico que descobriu o dióxido de carbono, e **James Hutton**, que estabeleceu os modernos pontos de vista sobre a complexidade geológica do mundo e a percepção da enorme dimensão temporal da Terra, como será visto a seguir. Apesar do espírito de mudança induzido por essa vibrante atmosfera cultural, a maioria das pessoas ainda sustentava que Deus havia criado o mundo em seis dias – em sintonia, portanto, com a doutrina netunista para a origem das rochas. A propósito, um dos mais eminentes teólogos da época, o arcebispo **James Ussher**, primaz da Irlanda, com base na aceitação literal dos registros bíblicos, calculou que a Terra tinha sido criada 4.004 anos antes do nascimento de Cristo e mudara pouco desde aquela data, exceto talvez durante o



Figura 1.6: James Hutton.

Esse conceito mais teológico foi especialmente questionado pelo naturalista escocês James Hutton (1726-1797) – (Figura 1.6), considerado o pai da Geologia. Sua obra abrangeu diversificados campos do que, em sua época, se denominava “filosofia natural” e “filosofia moral”, com explicações químicas fundamentando a construção do pensamento, em especial sua doutrina geológica, fundamentada na transformação com base na enorme dimensão temporal.

Fascinado pelas rochas, minerais, solos, agricultura e relevo, ele cultuou o raciocínio geológico em sua plenitude, combinando-o a experimentos (realizados por ele mesmo) para decifrar a história da natureza: ao estudar as rochas dos arredores de Edimburgo, onde nasceu, percebeu que o mundo

não era imutável como se pensava até então, desafiando com isso o Gênesis bíblico. Na busca de pistas de como o mundo se formou e quão antigo seria, ele percorreu o flanco de um antigo vulcão de Edimburgo, o Trono do Rei Artur, onde constatou, num local, que a rocha ígnea, ao solidificar, havia se infiltrado em outra rocha, sedimentar. Nesta última, reconheceu as transformações minerais pelo contato com a rocha ígnea por causa das altas temperaturas envolvidas. Em outro local, na Escócia, James Hutton concebeu o princípio das relações espaciais e temporais entre corpos rochosos. Ali, ocorria um **granito**, um tipo de rocha muito comum na Bretanha, no qual os constituintes minerais, visíveis a olho nu, mostram um arranjo cristalino desordenado (**Figura 1.7**). Com essas observações, estabeleceu o conceito do **Vulcanismo** e **Plutonismo**. Nessa época, já se sabia que as lavas se originavam a partir de matéria derretida do interior terrestre, conhecimento que remonta às descrições dos antigos romanos, que conviviam com erupções vulcânicas espalhadas por todo o mediterrâneo, muito embora outros naturalistas e pensadores acreditassem que todas as rochas teriam sido precipitadas durante o Dilúvio.



Figura 1.7: Ilustração do século XVIII, época de James Hutton; fragmentos de rocha granítica bandada (rósea e branca) intrudida por rocha vulcânica (cinza), demonstrando a origem ígnea dos materiais. / Fonte: [Wikimedia Commons](#)

Cabe também dizer que, no século XVIII, já se conhecia o processo de solidificação de materiais fundidos, como o ferro, e também que a temperatura do subsolo aumenta com a profundidade, sensação facilmente constatada por quem adentrava as minas subterrâneas europeias. Ademais, a existência hipotética de material fundido nas profundezas da Terra fazia sentido para as pessoas por ser coerente com os termos culturais vigentes, a exemplo do fogo do inferno, conforme as escrituras bíblicas. Por outro lado, todo observador atento teria tido a oportunidade de observar a água se solidificar ou congelar, formando cristais de gelo nos invernos rigorosos. Com base empírica e usando do raciocínio geológico, James Hutton concluiu que o material

formador do granito fora outrora matéria fundida que, ao se resfriar, dera origem à rocha sólida, agora formada por um arranjo de cristais posicionados em todas as direções, mesmo que não tivesse observado de fato o fenômeno natural no flanco do vulcão de Edimburgo, mas somente o seu registro. Todas essas evidências somadas indicavam ainda que regiões muito quentes no interior da Terra podiam conter rocha fundida. Assim deveria ser, segundo ele, o funcionamento do grande motor incandescente da máquina terrestre.

Anos depois, Hutton também investigou os estratos de rocha das províncias escocesas, onde vislumbrou, pioneiramente, a história da Terra em termos de processos graduais, como erosão e transporte dos materiais soltos e sua deposição como sedimentos moles que se fixaram no fundo do mar. Interpretou que esses sedimentos tinham se compactado e transformado, lentamente, em pedra, pela pressão das outras camadas de sedimento depositadas acima deles e, em seguida, dobrados por fenômenos naturais; e, por fim, o mar recuara ou o fundo do mar subira, expondo parte da rocha ao ar. As transformações provocadas pelas intempéries teriam degradado a camada superior de rocha em porções finas, ajudando a criar o material a que chamamos de solo. Toda essa complexa trajetória natural, fundamentada na lei da superposição, representaria uma série de eventos organizados da base para o topo dos estratos rochosos, levando-o à conclusão de que a Terra era extremamente antiga de fato (**Figura 1.8**).

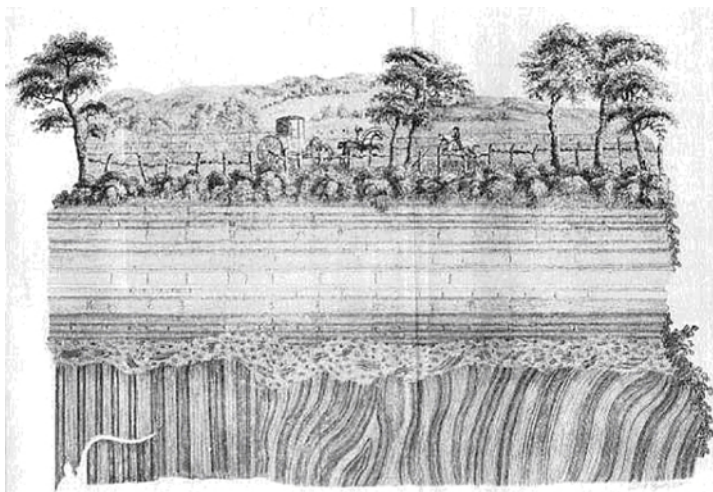


Figura 1.8: A gravura “Unconformity de Jedburgh, Borders” é uma ilustração sobre um episódio geológico, idealizado por J. Hutton. O estrato inferior formou-se na posição horizontal e foi inclinado fortemente pelas forças internas da Terra. Depois, foi decomposto e desgastado por intempéries até ficar plano (retratando uma inconformidade geológica); finalmente, foi soterrado por novos estratos de sedimento, mais tarde consolidados como rocha. / Fonte: CLERK, J. (amigo de Hutton); fotografia: STONE, C. *apud* WEINER, 1986.

Para os olhos atentos de Hutton, as águas da chuva arrastam continuamente solo e sedimentos para os rios, e daí para o mar, onde o sedimento depositado é compactado até formar rocha. O calor interno da Terra levanta e deforma as camadas de rocha acima do nível do mar para formar montanhas.

Lava sobe das profundezas, forçando seu caminho para a superfície, onde endurece transformando-se em rocha; e essa rocha se decompõe e desgasta mais tarde, até que seus fragmentos levados pela água e pelo vento irão se depositar no fundo de um novo mar. Para descrever esse ciclo de transformação geológica natural, Hutton escreveu: “portanto, o resultado desta investigação física é que não encontramos vestígios de um começo – nenhuma perspectiva de um fim.” (Figura 1.9). Desse modo, James Hutton foi o primeiro a perceber a diferença entre o tempo geológico e o tempo humano; que a rocha e o solo, os sedimentos e os mares necessitam de grandes intervalos de tempo para passarem seus

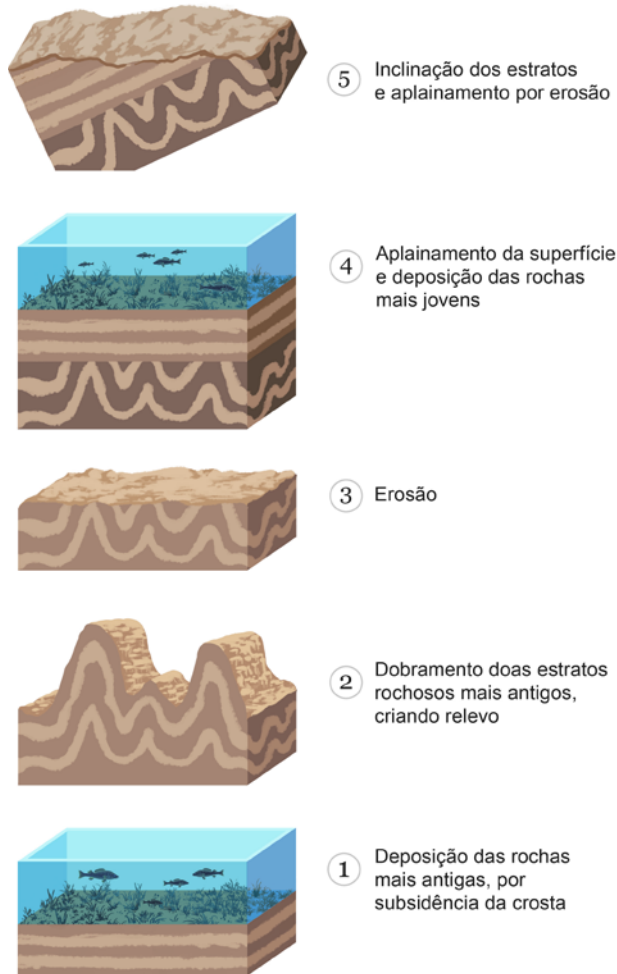


Figura 1.9: Ilustração do ciclo geológico de James Hutton, segundo a lei da superposição de estratos rochosos. As rochas mais antigas (menos perturbadas) repousam abaixo de rochas mais jovens. Dessa forma, a série de eventos registrada (deposição, dobramento, degradação, aplainamento e inclinação) representa a própria história geológica de uma região.

ciclos. Não obstante, a resposta para a descoberta de Hutton foi, uma vez mais, uma explicação distorcida dos fenômenos naturais na tentativa de se concentrar a longa história terrestre descrita por Hutton em menos de 6.000 anos, em coerência com o dogma da criação do mundo. E aqueles poucos, cujas observações sugeriam que essa interpretação não seria cientificamente aceitável, foram marcados como heréticos.

Em 1785, James Hutton apresentou um ensaio à Royal Society de Edimburgo, no qual enfatizou novamente a imensidão do tempo geológico e a uniformidade dos processos naturais que formaram a Terra. Ele explicou à sua audiência como a paisagem se formava a partir de mares e rios do passado e como as paisagens do futuro seriam formadas a partir dos processos naturais atuais. Por ser tão conflitante com os preceitos bíblicos ainda predominantes, ele foi acusado de ter deposto o Criador de seu trono, mas Hutton insistiu: “Na natureza, não há deficiência em relação ao Tempo”.

Ele encontraria, finalmente, as provas da vastidão do tempo que tanto procurava na costa do mar do Norte, em Siccar Point, onde a ação das ondas havia exposto um penhasco com rochas de duas cores. A metade de cima do rochedo era arenito vermelho (rocha evidentemente sedimentar) antigo, com estratos sub-horizontais, e a metade abaixo dele era uma rocha escura, a que ele chamou de xisto, cujos estratos estavam deformados, quase verticais. Juntamente com seu colega **John Playfair**, também geólogo, ao estudarem as curiosas rochas encontradas na costa de Siccar Point, já sabiam que nenhuma rocha poderia ter sido depositada com seus estratos verticais, conforme a lei da superposição de camadas (**Tabela 1.1**). Assim, a camada inferior de xisto deveria ter sido originalmente depositada na posição horizontal, mais tarde endurecida como rocha, e só depois perturbada e inclinada. Sua parte superior pontiaguda deveria ter sido depois lentamente desgastada pela erosão até se tornar aplainada; depois, por cima dela, deve ter sido depositada a areia que formou o arenito em uma nova etapa do ciclo geológico. A superfície desgastada pela erosão era a prova cabal da existência de um longo intervalo de tempo na formação das duas rochas de Siccar Point.

A visão inovadora de Hutton acerca da geologia histórica da Terra e de sua complexidade está em sua obra *Tèoria da Terra*, publicada em 1795, cujo simbolismo está resumido por uma de suas frases seminais “Desde o topo da montanha à praia do mar...tudo está em estado de mudança”. Pouco mais tarde, John Playfair deu grande visibilidade às ideias modernas sobre geologia formuladas por Hutton, em seu livro *Ilustrações da Tèoria Huttoniana*. As ilustrações dessa obra importantíssima apresentavam as provas de que materiais que formam rochas se infiltram em outras durante os processos (ciclos) geológicos da Terra, entre outros aspectos da evolução da natureza (**Figura 1.10**).

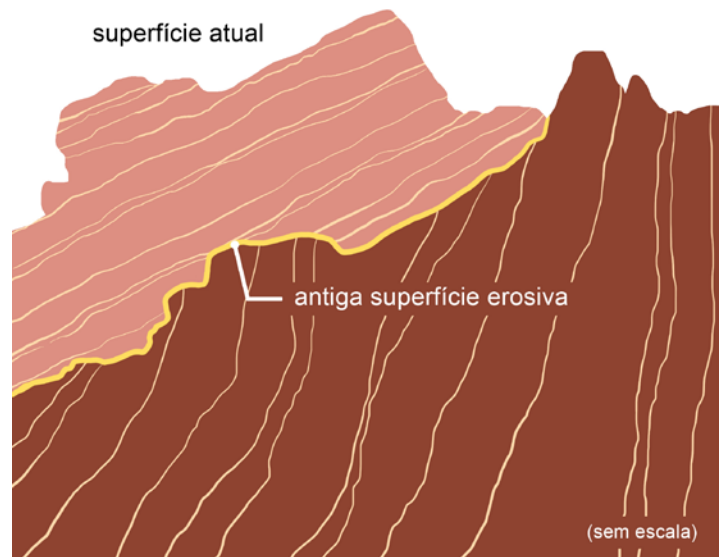


Figura 1.10: Os dois tipos de rocha em Siccar Point, Mar do Norte (Escócia), estudados por J. Hutton e J. Playfair. Observar a superfície planar entre os dois tipos de rocha (abaixo dobrada e acima sub-horizontais), que representa uma superfície pretérita degradada por intempéries (retratando uma inconformidade geológica). Trata-se de uma prova de que a história geológica terrestre é formada por diferentes ciclos de longa duração temporal.

Para Hutton e Playfair, a memória da Terra (ou seja, seu passado, presente e futuro) estaria representada por incontáveis ciclos naturais exatamente iguais, envolvendo desgaste, construção, erosão e criação. Essa crença também embutia um conceito de regularidade e uniformidade, o que se tornou conhecido como princípio do **Uniformitarismo**, termo cunhado por Hutton. Para eles, portanto, a máquina terrestre seria quase eterna, onde forças dinâmicas internas criavam esforços que, no decorrer do tempo quase incomensurável, elevavam terras dos novos oceanos enquanto outras superfícies expostas eram erodidas.

Em seu sentido mais geral, o cerne dessa doutrina é válido nas ciências geológicas ainda hoje. Afinal, se a natureza não fosse uniforme, seria impossível usar os resultados de uma experiência para prever outra; nem seria possível partir do princípio de que leis baseadas em observações diferentes se manteriam verdadeiras. Sem uniformidade na natureza, a aplicação dos princípios da física, química e biologia seria inviável. A lógica, a ciência e a própria vida desmoronariam. Em Geologia, porém, o uniformitarismo estrito foi considerado controverso; em parte, porque o trabalho de Hutton questionava aqueles que queriam interpretar a Bíblia literalmente e, em parte, pelas características da Terra cujos fenômenos naturais apelam à imaginação não baseada na ciência: catástrofes, vulcões, relâmpagos, o que ele descartava com base na observação dos ciclos geológicos e das características das rochas e processos naturais.

No final do século XVIII, Hutton visitou os Alpes suíços e observou nos vales a presença de pedras arredondadas e soltas, muito similares às rochas das montanhas que os ladeavam. Nas altitudes alpinas, ele também percorreu as laterais das geleiras e verificou a existência de pedras arredondadas incrustadas no gelo e, ainda, observou um grande número dessas pedras ao longo das vertentes abaixo delas, que o gelo aparentemente aprisionava quando a geleira se avolumava, e eram expelidas de novo quando se retraía no verão. Hutton, então, concluiu que essas geleiras, no passado, deveriam ter deslizado desde seu local de origem, nas altitudes alpinas, para ocupar os vários vales suíços e que, durante o avanço delas, milhares de pedras foram arrancadas dos flancos das montanhas. Depois, quando as geleiras recuaram, toda essa carga foi sendo espalhada, do mesmo modo que a maré espalha seixos na praia. Essa era a origem das pedras arredondadas presentes nos vales.

Essa evidência geológica, como outros pensamentos de Hutton, encontrou resistências no seu tempo: aquelas pedras ou blocos dispersos descritos por ele eram, na época, considerados prova irrefutável do Dilúvio Universal. Muitas pessoas tinham a sensação de que se estava abrindo uma brecha entre a explicação científica do mundo e o mundo revelado pelas Sagradas

Escrituras. Uma teoria que tanto os geólogos quanto os teólogos pudessem respeitar seria aceita com reconhecimento e alívio, mas qualquer hipótese que ameaçasse alargar essa fenda era impensável. Assim, a doutrina do netunismo uma vez mais prevaleceu à de Hutton, e esta explicação inovadora sobre geleiras foi simplesmente ignorada.

Ao longo das décadas seguintes, porém, outros naturalistas chegaram a conclusões semelhantes às de Hutton, embora tivessem conseguido convencer poucas pessoas. Em 1837, o naturalista suíço Louis Agassiz proferiu uma conferência em que provava que geleiras pretéritas já tinham descido as montanhas e se espalhado por grande parte da Europa; e, mais, que seu atrito sobre o substrato polira os blocos de rocha dispersos nos vales (**Figura 1.11**). Depois de longo e duro debate internacional, ele fez vingar seus pontos de vista, ou seja, de que as geleiras se formam quando a neve das montanhas se acumula em camadas espessas; que se movem sazonalmente pela ação de seu próprio peso, e que houve épocas em que o gelo cobrira parte significativa do planeta. Agassiz seria reconhecido mais tarde como o fundador da moderna ciência glaciologia.



Figura 1.11: Estudo da geleira de Viesch, publicado na Suíça em 1840. A proposta admitia que o mundo, no passado, tinha sido dominado por uma grande glaciação. / Fonte: AGASSIZ, 1840; fotografia: STONE, C. apud WEINER, 1986.



Figura 1.12: Charles Lyell.

James Hutton morreu em 1797, antes que suas ideias alcançassem pleno aceite da comunidade científica europeia, no mesmo ano em que nasceu Charles Lyell – o homem destinado a se tornar a figura mais influente rumo à moderna Geologia (**Figura 1.12**). Quando Lyell se tornou geólogo, ele avançou a partir do ponto que Hutton havia atingido sobre o princípio histórico da Geologia. Nesse tempo, o conceito de mudanças graduais da natureza através de causas naturais já assumira liderança ante a doutrina catastrofista. Lyell, em sua obra clássica *Princípios de Geologia*, cuja primeira edição foi publicada em 1830 (e que teria 14 reedições até 1875), expôs com didatismo todas as observações que pode coletar sobre a história geológica

do mundo em apoio aos pensamentos de Hutton; seus escritos eram firmemente embasados em leis da natureza constantes e presentemente identificáveis (isto é, procedimento científico em geral), aliadas à observação da disposição física das rochas. Em suma, ele expôs o método uniformitarista, em que os registros geológicos primitivos teriam sido originados por ambientes e processos similares aos que ainda hoje estão atuando. Além disso, concluiu que transformações imperceptíveis causadas por processos geológicos poderiam, no decorrer de longos períodos de tempo, ter enormes efeitos cumulativos. Esse princípio fundamental da geologia não só fez desabar os dogmas da Igreja, mas também ressaltou o conceito da enorme amplitude temporal da história terrestre.

Essa obra de Lyell influenciou muitas gerações de geólogos na interpretação do passado geológico, como será detalhado no tópico 11 desta disciplina. Ela também preparou o terreno das ideias inovadoras para as conquistas científicas do século XIX, incluindo as de Charles Darwin – um adepto dos fundamentos uniformitaristas de Lyell –, que culminou com a elaboração da Teoria da Evolução, evidenciada pela memória das rochas e dos fósseis. No seu livro *A origem das espécies*, publicado em 1859, Darwin ressaltou que a espécie humana é apenas uma entre tantas outras e que os seres vivos precisam evoluir para se adaptar às transformações ambientais que ocorrem ao longo do tempo geológico.

O conceito do uniformitarismo proposto por Hutton e Lyell revelou-se, contudo, dogmático demais para representar a complexa evolução do mundo natural, dado que os estudos científicos modernos demonstram que a litosfera, a atmosfera e a hidrosfera (**Figura 1.2**) passaram por profundas modificações nos 4,6 bilhões de anos da evolução do planeta. Em função do avanço do conhecimento, hoje, um conceito mais flexível é aplicável para as causas naturais, o chamado atualismo. Esse conceito, diferentemente do uniformitarismo, contempla a variabilidade na intensidade dos processos geológicos através do tempo, regidos pelas leis naturais planetárias.

Mas o dilema entre ciência e religião continua presente até hoje, pois é comum idealizar paralelos entre relatos da criação e a formação do sistema solar, por exemplo. Não obstante, o modelo científico da origem do Universo estará sempre incompleto, aprimorando-se a cada nova descoberta científica, como vem sendo feito desde pelo menos três séculos, por meio do pensamento científico, inventividade humana e avanço tecnológico. E essa busca do desconhecido independe da fé.

1.4 A Geologia Moderna

A partir da década de 1960, os geólogos começaram uma sucessão empolgante de saltos intelectuais, que transformaram a sua especialidade científica. Como outras revoluções na história da ciência, esta teve seu tempo de incubação, até que instrumentos adequados pudessem testar as intuições e que provas decisivas fossem apresentadas. A revolução juntou milhares de observações, parte delas obtida em locais inóspitos, inclusive em amostras dos fundos oceânicos. Os resultados montados como num quebra-cabeça gigante mudaram para sempre a nossa maneira de ver o mundo. A Terra é enérgica e, acima de tudo, está em constante movimento: cria constantemente sua própria superfície, destruindo-a, reparando-a e renovando-a como uma pele. A confirmação do mecanismo motriz da Tectônica de Placas como explicação para a totalidade dos processos naturais da Terra, inclusive a evolução climática e biológica, torna-a tão importante quanto a Teoria da Evolução, de Darwin, e a Teoria da Relatividade, de Einstein.

Assim é a ciência, qualquer que seja o seu foco de estudo; ela nos ensina que, quanto mais aprendemos sobre o mundo, menos importantes somos. Nesse contexto, James Hutton e Charles Lyell fizeram, em termos da dimensão do tempo da Terra e sua história geológica, o que Copérnico fez pelo espaço. Desde que Copérnico “removeu” a Terra do centro do cosmo, quanto mais a ciência avança, mais percebemos que a nossa localização no espaço é irrelevante e que não somos nada essenciais na evolução do Universo. A partir dos estudos de Hutton e Lyell, sabemos que a Terra é uma máquina grande, enérgica e viva; que somos minúsculos pontos numa linha de tempo extraordinariamente longa. De certa maneira, o ponto de vista de ambos era simples: com tempo suficiente, os ciclos naturalmente lentos da Terra levam às grandes transformações. Nesse contexto, as grandes descobertas científicas, que ocorreram no último século sobre o entendimento do nosso mundo, nada mais são do que o desenvolvimento das doutrinas do uniformitarismo e atualismo, em consequência do avanço tecnológico com alicerces do método científico e do pensamento racional. Em especial, o raciocínio geológico progrediu de forma compatível com a natureza do planeta: pela associação de minuciosas observações em diferentes escalas de dimensões e espaciais, interpretações que levam em conta a grandeza do tempo e a fundamentação das ciências naturais.



O método científico e o raciocínio geológico

A ciência faz hoje parte da nossa cultura. Seu avanço é obtido por meio de observações e dados laboratoriais, que alimentam uma hipótese, ou seja, emprega-se o método científico, pressupondo-se que os experimentos possam ajudar a compreender o funcionamento da natureza no caso da Geologia. A ciência avança pelo intercâmbio de ideias veiculadas em trabalhos que retratam o conhecimento acumulado e registrado.

Surpreendentemente, a controvérsia religiosa induziu a introdução de uma nova forma de interpretar o mundo natural, utilizando empiricamente conceitos lógicos do raciocínio geológico, mesmo que essa ciência ainda não tivesse sido efetivamente criada na época medieval. Isso porque, no passado, as frequentes disputas entre protestantes e católicos obrigaram cada lado a fundamentar suas interpretações nos argumentos históricos aceitáveis para o lado oponente. Nesse dilema, surgiu o que se convencionou chamar de criticismo textual, o qual envolvia necessariamente o exame cuidadoso de textos antigos em termos de sua coerência interna, bem como sua comparação com outros escritos datados da mesma época. Uma vez tendo sido os textos classificados em uma ordem cronológica, tornou-se evidente a influência dos primeiros escritores sobre os textos mais novos. Em outras palavras, a história registrada não era uma mera repetição, mas um desenvolvimento gradual, no qual descobertas de cada novo período eram alicerçadas no conhecimento adquirido no período anterior. Desse modo, foi natural estender esse raciocínio para “ler” a paisagem, na qual os estratos de uma rocha representavam simbolicamente as páginas do livro da natureza.

Uma hipótese científica representa a tentativa de explicação preliminar de um determinado fenômeno natural, a qual é submetida à crítica imparcial para que seja testada e enriquecida com novos dados e alimentada com o avanço do conhecimento. Quando uma hipótese sobrevive à crítica e acumula um significativo conjunto de dados que a apoie, ela é elevada à condição de teoria. Contudo, uma teoria nunca é provada, apesar de sua força explanatória e previsível: não importa quão atraente ela seja; se novas descobertas apontarem que a teoria está errada, os cientistas vão modificá-la e/ou descartá-la.

O método científico é, em essência, a insistência de investigar questões críticas. É, portanto, uma atividade intelectual e científica construtiva, pautada por contínuas descobertas e que não tem fim. Já um modelo científico é a representação de um aspecto da natureza com base num conjunto de hipóteses, que podem incluir uma ou várias teorias bem conhecidas. Envolve também uma fase de pesquisa básica (essencial como elemento do conhecimento científico), sem a qual não há o avanço da própria ciência e, sobretudo, da tecnologia necessária para o desenvolvimento da humanidade. Ou seja, a pesquisa básica é aquela que estabelece os pilares de uma teoria, de uma hipótese, ou que constata que um fato científico é crucial para o entendimento do mundo em que vivemos e dos fenômenos que ocorrem na natureza. Atualmente, a formulação de modelos faz uso de simulações computacionais, o que permite investigar aspectos do comportamento de sistemas naturais de longa duração, importantes no caso da evolução do planeta, inclusive previsões sobre alterações climáticas, que nem as observações de campo nem os experimentos laboratoriais poderiam elucidar.

Durante os últimos séculos, o emprego sistemático do método científico e a argumentação lógica foram fundamentais para o avanço do conhecimento humano em relação à melhor compreensão

do mundo natural, muito embora suas qualidades contenciosas intrínsecas tenham gerado dilemas e debates entre a religião e a ciência. Felizmente, nos dias atuais, todos sabem que parte do método científico é a noção de que a experimentação pode ajudar as pessoas a compreender melhor o ambiente e com isso protegê-lo.



1.4.1. As subdivisões da Geologia

A Geologia (do grego *geo* e *logos*, que define o estudo da Terra) descreve as propriedades físicas e químicas dos materiais terrestres e os processos naturais internos e externos, numa perspectiva histórica. Para tanto, depende de observações de campo, experimentos de laboratório, simulações computacionais e interpretações. Entretanto, a Geologia, diferentemente da física ou da química, tem uma abordagem multidisciplinar; o conhecimento da história da Terra se dá a partir da observação e do estudo dos materiais disponíveis – o registro geológico no sentido mais amplo –, que é a informação preservada nas rochas originadas em diversos momentos da longa história terrestre, à luz das três linhas-mestre de interpretação geológico-histórica (tendências seculares, ciclos e eventos de importância singular, mas de caráter global). Atualmente, os geólogos aplicam os princípios básicos do raciocínio geológico usando estratégias cada vez mais sofisticadas, que incluem dados de satélite e computacionais, para localizar áreas com alto potencial de sucesso econômico, entre outros alvos, como recursos hídricos e pedológicos.

Em termos práticos, os estudos em Geologia dividem-se em duas áreas: a geologia histórica e a geologia física. A geologia histórica trata da origem terrestre e sua evolução geológica no tempo e no espaço, que inclui o estudo dos continentes, oceanos, atmosfera e da vida. A geologia física investiga os minerais e as rochas, bem como os processos formadores vinculados à dinâmica interna e externa da Terra e que, em última análise, se fundamentam nos pilares fundamentais da estratigrafia. Esses princípios, por sua vez, utilizam-se da relação cronológica das camadas sedimentares entre outras evidências geológicas, um .A moderna estratigrafia enfatiza detalhes tais como: idade, ambiente deposicional, conteúdo fóssil e correlações magnéticas entre camadas rochosas, no âmbito local, regional e global. Por outro lado, na medida em que aumenta a demanda do mundo moderno por recursos minerais e energéticos, tornam-se relevantes muitas especialidades geológicas, que se correlacionam com a Biologia, Oceanografia, Geofísica, entre outras ciências. Agrupadas como Ciências da Terra, essa forma de investigar o planeta é, portanto, simultaneamente interdisciplinar e global.

Finalmente, cabe ressaltar que o desenvolvimento das Ciências da Terra foi tão significativo, nas últimas décadas, que hoje os estudos permitem a elaboração de modelos científicos capazes de auxiliar na reconstrução do passado e previsão de processos futuros relacionados ao nosso planeta e, portanto, com grande importância para a humanidade em vista da sua relação e influência com o cotidiano das pessoas e o meio ambiente. Além disso, a geologia desenvolvida, obviamente, na Terra, tem auxiliado sobremaneira a interpretação dos corpos extraterrestres e vice-versa, já que as leis naturais são as mesmas em todos os corpos do Universo; assim, materiais, processos e paisagens provenientes de outros planetas têm sido interpretados à luz dos conhecimentos geológicos, como os observados na superfície de Marte. Um destaque deve ser dado ao fato de que astronautas que foram à Lua receberam treinamento geológico para reconhecer materiais importantes para coleta e estudo posterior nos laboratórios.

Referências Bibliográficas

- GONÇALVES, P. W. **A Marca química da doutrina natural e espiritual de James Hutton**. Ciência & Educação. v. 14, n. 3, p. 519-35, 2008.
- PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T.H. **Para entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656p.
- TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M. de; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**, 2. ed. São Paulo: IBEP Editora Nacional-Conrad, 2009. 623 p.
- WEINER, J. **O planeta Terra**. São Paulo: Martins Fontes, 1988. 361 p.
- WICANDER, R.; MONROE, J. S. **Fundamentos de Geologia**. Tradução H.O. Avritcher; revisão técnica M. A. Carneiro. São Paulo: Cengage Learning Edições, 2009. 508p.

Glossário

- Catastrofismo:** Acreditava-se que catástrofes globais, produzidas por Deus, teriam lapidado as paisagens do mundo natural, isso desde antes dos gregos.
- Empirismo:** Observação e experimentação regulada pelo raciocínio indutivo.