

O Tempo de Pedra

Rui Pena Reis

I
IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
COIMBRA UNIVERSITY PRESS
U



(Página deixada propositadamente em branco)

(Página deixada propositadamente em branco)

COORDENAÇÃO EDITORIAL
Imprensa da Universidade de Coimbra
Email: imprensa@uc.pt
URL: http://www.uc.pt/imprensa_uc

CONCEPÇÃO GRÁFICA
António Barros

PRÉ-IMPRESSÃO
Rafael Resende

EXECUÇÃO GRÁFICA
SerSilito • Maia

ISBN
978-989-8074-55-3

ISBN DIGITAL
978-989-26-0444-2

DOI
<http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0444-2>

DEPÓSITO LEGAL
282193/08

ORA PUBLICADA COM O APOIO DE:



Índice

Prefácio	7
Escala do tempo geológico	9
Capítulo 1 - O TEMPO INTERIOR	11
Capítulo 2 - A VERTIGEM DO TEMPO	15
Capítulo 3 - O TEMPO DAS MUDANÇAS	27
As grandes causas globais	30
Mudanças Climáticas	35
1 - Como ler os climas antigos nas rochas?	37
Algumas evidências paleontológicas	38
Evidências em sedimentos marinhos	42
Evidências em sedimentos acumulados nos continentes	44
<i>Os lagos e os sedimentos lacustres</i>	45
<i>Os depósitos originados pelo vento</i>	47
<i>Os rios e os sedimentos aluvionares</i>	49
<i>Os depósitos relacionados com as regiões geladas</i>	51
2 - Episódios de glaciação global	53
<i>Efeitos das Glaciações</i>	57
Mudanças paleomagnéticas.....	59
Mudanças do nível do mar	61
Mudanças nas formas de vida	64

Capítulo 4 - O CÓDIGO DO TEMPO	67
O que ler nas superfícies entre as rochas	67
Clima	69
Tempestades	70
Actividade vulcânica	72
Impactos de corpos cósmicos	73
Inversões do campo magnético	75
Sinais de vida e morte	75
Capítulo 5 - O NOSSO TEMPO	81

Prefácio

A expressão social que atingiram debates acerca de problemas ambientais actuais – nomeadamente os que decorrem do desequilíbrio dos ecossistemas como consequência do aumento do efeito de estufa –, trouxe para a esfera pública discussões em torno de cenários de evolução do clima da Terra, que raramente destacam a imensidão da idade do planeta quando comparada com a exiguidade de testemunhos dos processos que o modelaram, e que sustentam modelos de previsão climática. E, contudo, tal como se ilustra em “O Tempo de Pedra”, a Terra tem uma extensa história, povoada de múltiplos episódios de interacção entre variáveis bióticas e abióticas, que resultaram em complexos padrões de variações de biodiversidade, de que não há memória, mas cujo conhecimento seria indispensável para uma melhor fundamentação de tudo o que se diz e pensa acerca da evolução futura dos sistemas climáticos. A pequena porção da litosfera, que está acessível a quem a sabe interpretar, é tudo o que nos resta a nós, humanos, para desvendar os insondáveis mistérios do planeta em que vivemos. O futuro da Humanidade depende, também, da interpretação do registo geológico, memória incontornável da História da Terra, cuja compreensão constitui uma dimensão central na área de conhecimento que se designa por Ciências da Terra.

A mitigação dos problemas ambientais actuais que inundam a agenda política internacional, como o aumento do efeito de estufa, a perda de biodiversidade ou o esgotamento de recursos naturais, requer mudanças de comportamento e de atitudes de todos os cidadãos que dependem de evidências que as Ciências da Terra, conjunta e articuladamente com outros saberes, pode sustentar e estimular. Contudo, a consciência pública – em particular, dos decisores políticos, dos agentes educativos e económicos e dos media – acerca do enorme potencial do conhecimento em Ciências da Terra que cerca de meio milhão de geocientistas em todo o mundo detêm, e que pode contribuir, quer para a preservação do planeta, quer para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos, continua perigosamente reduzida.

É neste quadro que emerge o Ano Internacional do Planeta Terra (2007-2009), actualmente em curso, uma iniciativa aprovada em Assembleia-geral da Organização das Nações Unidas, e integrada na Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (2005-2014), e que visa aproximar as Ciências da Terra de todos os cidadãos. Tal ambição transparece no slogan associado ao Ano Internacional do Planeta Terra – Ciências da Terra para a Sociedade –, assim como

nas temáticas seleccionadas para a implementação do seu Programa Científico: “Água subterrânea: reservatório para um planeta com sede?”, “Desastres naturais: minimizar o risco, maximizar a consciencialização”, “Terra e saúde: construir um ambiente mais seguro”, “Alterações climáticas: registos nas rochas”, “Recursos: a caminho de um uso sustentável”, “Megacidades: o nosso futuro global”, “O interior da Terra: da crosta ao núcleo”, “Oceano: abismo do tempo”, “Solo: a pele da Terra”, “Terra e vida: as origens da diversidade”.

Com o Alto Patrocínio do Presidente da República e sob a égide da Comissão Nacional da UNESCO, Portugal constituiu e formalizou, junto da Corporação UNESCO-IUGS, o seu Comité Nacional, que tem vindo a promover múltiplas acções científicas e de divulgação das Ciências da Terra em todo o país, e que dão particular relevo à produção de documentos, dirigidos a vários públicos, que permitam levar as Ciências da Terra a todos.

Mas o sucesso de tal iniciativa depende também da capacidade e da motivação dos próprios geocientistas em participarem neste esforço de compreensão pública das Ciências da Terra – adoptando discursos adequados a públicos não-especializados, mesmo quando se referem a temáticas complexas com a das alterações climáticas, perspectivadas através da análise do registo geológico –, e de que “O Tempo de Pedra” constitui um exemplo notável. Por isso, o Comité Português para o Ano Internacional do Planeta Terra saúda a iniciativa do autor em produzir esta obra, e o compromisso da Universidade de Coimbra em a editar. “O Tempo de Pedra” espelha, de forma inequívoca, como os geocientistas – credenciados conhecedores dos processos envolvidos na dinâmica da Terra – estão particularmente bem posicionados para enfrentar questões globais prementes, como as que se relacionam as alterações climáticas, e representa um inestimável contributo para a implementação, em Portugal, do Ano Internacional do Planeta Terra.

Maria Helena Henriques
Coordenadora do Comité Português
para o Ano Internacional do Planeta Terra

ESCALA DO TEMPO GEOLÓGICO (*)

Eon	Era	Período	Época	Limite inferior de tempo
Fanerozóico	Cenozóica	Neogénico	Holocénico	11,5 ± 0 Ka
			Pleistocénico	1.806 ± 0 Ka
			Pliocénico	5.332 ± 0 Ka
			Miocénico	23,03 ± 0 Ma
		Paleogénico	Oligocénico	33,9 ± 0,1 Ma
			Eocénico	55,8 ± 0,2 Ma
	Paleocénico		65,5 ± 0,3 Ma	
	Mesozóica	Cretácico		145,5 ± 4,0 Ma
		Jurássico		199,6 ± 0,6 Ma
		Triássico		251,0 ± 0,4 Ma
	Paleozóica	Pérmico		299,0 ± 0,8 Ma
		Carbonífero		359,2 ± 2,5 Ma
		Devónico		416,0 ± 2,8 Ma
Silúrico			443,7 ± 1,5 Ma	
Ordovícico			488,3 ± 1,7 Ma	
Câmbrico			542,0 ± 1,0 Ma	
Proterozóico	Neoproterozóica			1,0 Ga
	Mesoproterozóica			1,6 Ga
	Paleoproterozóica			2,5 Ga
Arqueano	Neoarqueana			2,8 Ga
	Mesoarqueana			3,2 Ga
	Paleoarqueana			3,6 Ga
	Eoarqueana			-3,85 Ga
Hadeano				4,6(?) ~ 3,85 Ga

Ga – mil milhões de anos

Ma – milhão de anos

Ka – milhar de anos

(*) Baseada em Winge *et al.*, 2001, atualizada de acordo com ISC (2008).

(Página deixada propositadamente em branco)

Capítulo 1

O TEMPO INTERIOR

Não há provavelmente nada tão intrigante, mas ao mesmo tempo tão atraente, como a ideia de tempo. É uma velha ideia sobre cuja origem, se esfumou já a memória. O tempo existe mas não se vê, não se toca, não se ouve, não passa provavelmente disso mesmo... uma ideia, e por isso, claro, talvez apenas uma criação nossa. Épocas houve, em que tivemos certamente muita possibilidade de pensar no tema.

A sua natureza intangível torna-o espectral nas nossas consciências e, a cada passo, por tão estranhas e insólitas razões, cada um de nós é capaz de o odiar, e também desejar. Podemos senti-lo insuportavelmente lento, quase infinito ou, pelo contrário, instantâneo, fugaz e imparável. Não conseguiria seguramente defini-lo, tal como infrutíferos foram os esforços de tantos outros que o tentaram anteriormente. Uns dizem que é dinheiro, dando-lhe um valor facial, pensando talvez no desperdício do que deixaram de fazer no momento adequado. Aliás, muitas das unidades de medida da actividade humana são comparadas com auxílio duma entidade de valor monetário. Outros, menos materialistas, consideram-no fugitivo, inapelavelmente fugitivo, “tempus fugit”, a evocar a vã ideia de segurar a água entre as mãos. Esta imagem da fugacidade do tempo, sugere-nos sempre duas impressões. Uma, a de o tempo ser um fluido, escorrendo laminarmente por entre as fissuras mais improváveis. Outra, a de o tempo ser imparável, sempre mais rápido que nós.

Alguns fingem ignorá-lo, acertando assim as contas dum equilíbrio interior, que a existência reclama a cada passo.

E, todavia, o nosso interior, contrariamente ao que poderíamos julgar, soube senti-lo, vê-lo mesmo, ao tempo. Sabíamos, havia já longos anos que, à semelhança dos fluidos algo viscosos, ele deixava marcas, sulcos, formas de fluxo, tal como o mel a jorrar dum frasco deitado e sem tampa. Sabíamos também que esses não eram mais do que sinais dum sussurro imperceptível, nascente talvez para além duma colina, onde o tráfego na grande auto-estrada sulcava o vale buliçoso. Apesar de tudo, a tentação era irresistível e sentia-se que algo verdadeiramente único nos impelia para um centro: talvez um ente de intensa gravidade, de onde quase nada escapa a não ser a incerta descrença de alguma coisa por provar.

Por vezes, ocorre-nos a sensação de que viajar no tempo pode estar aí, ao nosso lado, numa forma quase tangível. À nossa volta, se estivermos atentos, os objectos aparecem esculpidos numa matéria formada de anos, meses, dias, por artífices cujos espectros conseguimos vagamente reconhecer. As trajectórias gestuais do nosso quotidiano interceptam órbitas temporais tão impressionantes que, sem nos darmos conta, estamos por vezes, muitas vezes, a macular instantes, feitos de milhões de anos. Podemos, por isso, sem o entendermos, cortar a linha que separa dois instantes tão afastados no tempo que as suas luzes provavelmente nunca se encontrarão antes do vermelho profundo. E disso, raramente nos apercebemos com lucidez, ignorando a importância simbólica daquela incisão no mel temporal. Há, contudo, uma aparência de eco que parece persistir e que, subtilmente, nos remete para a dimensão do tempo, do seu esqueleto metafísico, da sua cauda empolgante. Ironicamente, esse eco exprime-se pela retenção dum simples fio condutor, numa pequena ideia, dum quase sussurro que, na solidão, nos estremece por vezes, votando-nos para um intervalo situado algures, entre o espasmo de prazer e a vigilância dum ermo.

Pensámo-nos então no trajecto, naquele fio que, numa forma indispensável e rigorosa, nos levaria a unir, talvez, as duas pontas. Ou, quem sabe, a perdermo-nos sem a menor preocupação. Afinal, era possível que a realidade e o seu tempo fossem pouco mais do que algo absolutamente indecifrável. Veríamos interiormente, sentindo antecipadamente o prazer da incerteza, num pensamento um pouco sobressaltado.

Pensar o tempo. Se fosse uma coisa a fluir continuamente, tornava-se necessário conhecer o modo como isso acontecia. Mas esse continuamente será regular? Talvez pudesse mesmo apresentar mudanças de velocidade pelo que, nessa passagem, os fluxos seriam provavelmente variáveis de sítio para sítio, causando os inevitáveis turbilhões. Se assim fosse, era provável que se formassem mesmo enxurradas de tempo ou, porque não, barragens de tempo, eventualmente bloqueado por alguma circunstância ainda totalmente especulativa. Temos quase sempre a vertigem dos turbilhões. Concebemo-los mentalmente, sempre separados por uma parede que nos protege e cega. E se as trajectórias fossem variáveis de ponto para ponto, com velocidades e posições absolutamente erráticas, poderia o tempo ser caótico?

À memória vinham então as inevitáveis analogias com as diferentes e contrastadas sensações do passo do tempo. Uma coisa parece segura: é necessário continuar essa procura, pois o tempo, escasseia já...

Aquela sensação estranha numa distante manhã de Inverno cheia de sol, convoca-nos para algo que bem poderia comparar-se com o sulcar numa névoa persistente, no olhar e ausente na luz.

A expansão do tempo parecia ser outra possibilidade. Pelo menos, adapta-se bem à sua imensidão e confere plasticidade a uma realidade difícil de entender. Afinal, para lá do cosmos, o horizonte retorcido não era talvez tão diferente numa velha raiz revolta, na busca incessante dum tropismo intemporal. Jamais poderíamos conceber o exterior da totalidade, pois esta continha, forçosamente, aquele. Significa que, por uma vez, a realidade é infinita, pois inclui o que lhe parece escapar. Assim, em silêncio, poderemos ir aflagando a ideia, algo terna, do horizonte interior com a proximidade no infinito. Era, pelo menos assim, que se conseguiria, por instantes, imaginar o fluido cronológico em que atrás do passado avança o futuro. A ideia dum tempo de vidro,

bem transparente e homogéneo, gelado e com estrutura, parece improvável. Tanto talvez quanto a sua finitude estirada dentro da luz. Mas longe, é certo.

Desse longe chegavam sinais que, mais do que marés, lembravam torrentes algo cavernosas e esqueléticas, a evocarem uma asa descarnada de libélula. Em memórias de entardeceres serenos, avisados pelo ladrar dos cães, era mesmo possível suspender a respiração de encontro a um sopro imaginado, capaz de lembrar as ramadas agitadas dum velho loureiro arqueado. Talvez fossem as oscilações das árvores a criar o vento e não o contrário... Talvez fosse apenas nosso o tempo. Mas, nesse caso, a que realidade nos referiríamos...? Afinal, o som do tempo estimulava-nos o pulsar cardíaco do incontido.

O fluido cronológico é certamente viscoso, a lembrar uma prega em caramelo cuja definição se elimina em cada volta sobre si mesma. Dele chegam-nos sinais estelares que são tão incertos quanto disformes. E que dizer dos flancos, dos lados obscuros dum horizonte descaído, numa contradição entre as referências cartesianas e o contorno plástico dos feixes luminosos? Se dobrarmos a esquina do tempo, veremos o passado ou o futuro? Podemos adivinhar o presente olhando para o futuro? Podemos rodear o futuro, espreitando a esquina do passado?

Ao longo dos anos havia crescido o interesse pela questão do tempo, não tanto pela nitidez dos contornos, mas sobretudo pela natureza irresistível do seu centro. A extensão impressionante do tempo tornava-o tão intangível como estranho. Se as ideias pudessem talvez ter um corpo, este teria certamente de ser indecifrável, dada a sua sinuosidade e extensão. Era como se cada acontecimento se exprimisse no plano do relativismo, por velocidades milhões de vezes superiores à da passagem do fluido.

Uma ideia essencial traduzia-se no facto de surgir, a cada passo na reflexão, a natureza absolutamente elástica do tempo, pelo menos em aparência. Havia, por isso e de início, a necessidade premente de decifrar com clareza qual das duas hipóteses seguintes adoptar. Ou o tempo existe e isso suscitará a cada passo novas perguntas e enigmas por decifrar ou, pelo contrário, o tempo não existe, e o conceito corresponde apenas à nossa percepção da transformação e desempenho dos processos no interior da realidade. A segunda hipótese não pode deixar de ser considerada interessante, mas corre o risco de ser demasiado antropocêntrica, e essa circunstância é absolutamente antagónica da estrutura mental dum pensamento sobrevivente.

O tempo era, obviamente, uma entidade que empurrara o homem, o qual se atrevera a imaginar-lhe o motor. Sentia-se que a expansão notável que afectara a percepção temporal da humanidade desde o “grande princípio”, havia determinado modos novos e irreversíveis de nos olharmos nas superfícies espelhadas do nosso íntimo. O homem miniatural da actualidade confrontava-se ainda com um sentir cósmico de missão insubstituível. Na verdade, e duma forma crescente e acelerada, nada podia já, neste início do terceiro milénio, preservar um sentimento de influência, de perenidade relevante na intervenção humana. Era como se tudo se tratasse dum certo regresso às origens. No passado longínquo, o homem, porventura perdido e isolado, era um servo absoluto do seu mundo, por pequeno que ele fosse, e apenas a luta pela sobrevivência lhe poderia talvez dar o sentido do poder. Agora, com o conhecimento suficiente para afastar quase até ao infinito as fronteiras do seu mundo, a humanidade voltava de novo a perder o horizonte e o sentido do seu pulsar.

De novo, o afrontamento do infinitamente longo, grande e com o bordo translúcido. A intangibilidade dum condução infinita, numa dimensão ilimitada do tal fluído, recolocava cada vez mais a fadiga como respiração. Contudo e com toda a clareza, o tempo irrelevava a nossa percepção, abandonando inúmeros sinais da sua dimensão surpreendente.

Capítulo 2

“The result, therefore, of our present enquiry is, that we find no vestige of a beginning - no prospect of an end. “

James Hutton: Theory of the Earth, 1788

A vertigem do tempo

Ao longo dos últimos três séculos e meio aproximadamente, a nossa consciência colectiva, multiplicou por um factor um pouco superior a um milhão, a duração do tempo que terá decorrido, desde a formação do nosso planeta. Gradualmente, em correlação com a acumulação de informação e a ampliação do conhecimento, as propostas sobre os valores da idade da Terra foram sendo ampliadas, (Tabela 1) passando de cerca de 4000 anos na época do arcebispo James Ussher da Irlanda (1581-1656), no século dezassete (1650), a 4600 milhões de anos, tal como geralmente admitido actualmente¹. Para trás, ficava aparentemente um longo tempo de milénios durante os quais, estas preocupações, a terem existido como é provável, nunca nos foram transmitidas, quer seja pela tradição oral ou mais reflectidamente pela expressão escrita². E, no entanto, não é crível que desde o início da auto-consciência, o homem não se tenha interrogado sobre o tempo, a sua origem e o sentido do seu fluir. Não parece, contudo, possível fazer uma avaliação fiável dessas ideias, que não terão deixado registo. O isolamento, as longas jornadas e o impossível entendimento terão seguramente feito vibrar as cordas da pergunta, da interrogação e da procura. A duração dos anos e dos séculos não tem hoje o mesmo significado que terá porventura tido em épocas mais

¹ Na verdade a interpretação literal do Livro do Génesis da Bíblia levou o Dr John Lightfoot a afirmar em 1640 que o mundo havia sido criado no equinócio outonal do ano de 3928 AC. Apenas dez anos mais tarde, o Arcebispo irlandês James Ussher anunciou que Deus criou o Céu e a Terra num sábado à noite a 22 de Outubro do ano 4004 AC.

² No entanto, a tabela 1 refere algumas opiniões acerca da idade da Terra, anteriores ao século XVII

remotas da história humana. Todavia, o alongamento do tempo é uma intuição criada na nossa consciência e um sintoma da sua natureza pulsante e elástica.

Data	Autor	Idade (anos)	
	Cristóvão Colombo	5343	
1599	William Shakespeare	6000	Rosalind em <i>As You Like It</i>
1650	James Usher	23 Outubro 4004 AC	
1748	Benoit de Maillet	superior a 2 mil milhões	baseada na descida das águas do dilúvio
1774	Buffon	75000	baseada no arrefecimento do ferro
póstumo	Buffon	3 mil milhões	
1862	Lord Kelvin	98 milhões	
1897	Lord Kelvin	20-40 milhões	
1906	Rutherford	500 milhões	
1915	Bertram Boltwood	1600 milhões	
1921	Henry Russell	4 mil milhões	baseada no decaimento radioactivo
1929	Rutherford	3,4 mil milhões	
1935	Alfred Nier	2570 milhões	
1937	Meyer	4,6 mil milhões	
1946	Arthur Holmes e Friedrich Houtermans	3 e 3,4 mil milhões	
1953	Clair Patterson	4,55 ± 0,07 mil milhões	
1953	Friedrich Houtermans, com dados de Patterson	4,5 ± 0,3 mil milhões	
2000	vários	4,55 ± 0,02 mil milhões	

Tabela 1 – Evolução dos valores atribuídos à idade da Terra, por diferentes autores, desde o século XVI (baseado em www.talkorigins.org/faqs/geohist.html).

É talvez inútil, e apenas concebível em sistemas limitados de referência, como é o caso da nossa interiorização da realidade, aceitarmos o fluido, com um comportamento metronómico e auto-semelhante. O tempo pode ser ou ter sido uma entidade de geometria variável, tornando assim a sua reflexão infinitamente mais surpreendente. O recuo ao remoto subverte absolutamente esta tentação, recolocando a ideia de ser a transformação a real unidade de medida do tempo. Aí, a origem é, por isso, densa e desigual.

A Terra não parece nascer, mas sim aparecer feita para nós, claro. Afinal, há porventura mais fluído na diferenciação desta entidade do que na sua familiarização na nossa consciência. E, na verdade, a fábula pode, para nós, começar nesse ponto. Há, talvez, um momento no qual um sinal sussurrará o evento da nossa existência. Antes e depois disso, incontáveis transferências de energia e sentido irão gerar uma aventura. Esta tem, contudo, um sentido irrecusável...o da presença solitária, apenas testemunhada por infinitos dias e profundas escuridões de noites fantásticas. Esta paisagem mil vezes cobiçada é, talvez para muitos, uma representação de eternidade, da surpreendente criação como entidade ela própria.

A primeira surpresa pode bem ser a dos dias e das noites. Dessas, contam as memórias, joram mudanças. Ninguém alguma vez poderá testemunhar a imensidão, para sempre perdida, dos dias e das noites no passado. Praticamente toda a história da Terra decorreu sem que dessas, muitas mais que mil e uma noites, pudessemos receber o mais pequeno registo.

Supõe-se, com base no que se pensa ter sido a evolução dos movimentos astronómicos, que as noites terão sido algo mais curtas, tal como os dias, em épocas geológicas remotas. Admite-se, assim, que um ano pudesse contar, em algum momento da história geológica, com um todo semelhante a 500 dias e noites. Pressupõe-se por isso, que as condições orbitais seriam diferentes, tanto no que diz respeito à geometria, como à velocidade astronómica nesse percurso. Todavia, não foram suficientes para conter toda a memória das mudanças. A vastidão e a profundidade das transformações apenas podem ser estimadas para não dizer supostas. A geometria da terra e do mar, a incrível diversidade da vida que foi evoluindo, as modificações dos climas, o nascimento e morte de oceanos, o levantamento e arrasamento de cordilheiras, os desertos que passaram a florestas e vice-versa, a própria atmosfera que mudou, disso falam os sinais deixados na pedra ao longo de todo este tempo...

O tempo da Terra é provavelmente elástico, um pouco à semelhança da nossa memória. Por isso, para lá da representação plausível dum horizonte temporal, a vastidão perde sentido, confundindo-nos num mimetismo do quase infinito. Ninguém pode, por isso, relatar-nos o valor desta viagem. É uma viagem ao desconhecido, e jamais poderá ser-nos repetida, por mais expressivo que seja o viajante. É certamente a viagem da luz e do seu contrário, do espectro visível e dos raios ocultos, do céu mutante e dos ventos estelares. É quase a viagem da eternidade.

Ouvíramos expressões e fórmulas aparentemente insensatas e impossíveis. Talvez, afinal, as propostas do arcebispo de Ussher fizessem mais sentido. Dizer-se, como hoje se supõe, que o nosso planeta existe há cerca de 4600 milhões de anos é, de certo modo, confrangedor.

Ainda mais surpreendente é podermos ouvir, da parte de investigadores do Instituto Hawaiano de Planetologia e Geofísica, que o processo inicial de formação do nosso planeta, através duma aglomeração de materiais estelares, terá durado entre 50 e 100 milhões de anos! Além disso, os materiais sólidos mais antigos que se conhecem do sistema solar, os CAIs (inclusões relíquias ricas em cálcio e alumínio, presentes em condritos-um tipo de meteoritos), apresentam idades radiométricas de 4566 milhões de anos.... As rochas mais antigas actualmente existentes na Terra forneceram idades de 3960 milhões de anos, ainda que sejam conhecidos cristais com 4300 milhões de anos. A ser assim, tudo na nossa Terra terá começado há pelo menos 4600 milhões de anos.

Cada um de nós assimila estes números com um misto de surpresa curiosa e um certo sorriso, quase piedoso. De facto, é absolutamente impossível objectivar e reflectir sobre uma tão grande quantidade de tempo. Este conceito de tempo geológico é afinal isso mesmo, um conceito. Talvez apenas os cosmólogos e os astrónomos utilizem o mesmo alfabeto, desta língua oculta que é a do entendimento da imensidão do tempo. Não se conseguirá sentir este tempo pelo somatório dos dias e das noites à nossa medida. Os longos silêncios e as vertigens dizem-nos mais, muito mais. Sensatamente, mais 500 ou menos 500 milhões de anos parece algo completamente irrelevante. Por outro lado, é quase uma obsessão a necessidade de atribuição dum número de anos a uma entidade como o nosso planeta, cuja origem permanece essencialmente especulativa. Não passará, provavelmente, dum exercício de arrojo e desafio da parte de muitos dos investigadores que trabalham e que se interrogam sobre estes assuntos. Além disso, é uma operação inteiramente incerta, pois de demonstração impossível. Se por absurdo, um de nós pudesse percorrer uma distância de um milímetro por dia desde o início da formação do nosso planeta, há 4600 milhões de anos, teria até hoje completado 41 voltas completas à Terra!

Esta necessidade de atribuir uma idade ao nosso planeta é como já se disse, antiga, e os primeiros valores reflectidos datam do século dezassete. Os conhecimentos da filosofia Hindu estimam em 2000 milhões de anos a idade da Terra, o que surpreende pela similaridade de escala com os valores admitidos pela ciência actual. Já em 1778, Buffon atribuíra uma idade de cerca de 75000 anos à Terra. Os valores foram crescendo, ainda que numa forma muito irregular e errática. Apenas no século xx, com a utilização das técnicas assentes no decaimento radioactivo, os valores se aproximaram dos actuais, numa forma sustentada e estável.

Esta é uma questão intrigante. Por um lado, o homem aproximava-se progressivamente dum modelo da realidade cada vez mais completo e complexo, integrando a sua consciência numa capacidade crescente de intervir e modificar o mundo. Por outro lado, ampliava quase ao infinito o seu isolamento e solidão num espaço ilimitado e num tempo absolutamente impensável. Importa agora saber se esta é uma questão relevante para a percepção do futuro humano. Podemos também colocar este problema no quadro numa aproximação à presença dum divino ou, pelo contrário, ao afastamento dessa entidade, dada a insignificância da localização que nos conhecemos de nós próprios. Seja como for, ecos tão longínquos, sentidos tão remotos, mas tão íntimos, constituem certamente, desde há muito, olhares da nossa espécie.

Um pouco como um arrepio causado pela sensação daquela noite em que pedira a um incrédulo colega que me levasse a ver, no alto duma montanha em pleno sertão brasileiro, com nada num raio de dezenas de quilómetros, o céu intocado e infinitamente estrelado do hemisfério sul.

Se olharmos o tempo que decorreu desde o início do nosso planeta, verificamos que, para nós, ele não tem sempre o mesmo significado. É algo que parece elástico e, se é denso e preenchido na última fase da história, já parece rarefeito e nebuloso nas etapas mais recuadas. Talvez algo comparável com o efeito Doppler que se veri-

fica para a propagação de ondas. Um dia no futuro talvez consigamos, reconhecida a natureza do tempo, segui-lo e até persegui-lo, regressando, quem sabe, a passados julgados perdidos.

Se quase toda a história do planeta mais parece uma longuíssima noite de Inverno, os tempos do homem, os últimos, são apenas o momento dos primeiros raios do Sol, a romper por detrás de algum outeiro. O tempo, para nós expresso pela aparentemente imutável sucessão dos dias e das noites, ele próprio é, desse modo, incerto. Muitos cientistas planetários e geólogos acreditam que no passado, por circunstâncias resultantes das modificações dos movimentos orbitais da Terra e de outros astros, os anos não terão tido a mesma duração em dias, e os próprios dias terão tido distintos intervalos de tempo medidos em horas e minutos. Dado que a única condição aparentemente imutável é a permanente mudança, o mais certo é que no passado poucas coisas tenham sido exactamente como hoje se apresentam. Será, porventura, mais correcto e legítimo falarmos em passados do que em passado, pois os sucessivos momentos distinguem-se, não só com a actualidade, mas certamente e do mesmo modo, entre si. Esta possibilidade torna por isso, muito mais complexa e inacessível a reconstrução de condições do passado, dada a dificuldade de se estabelecerem verdadeiras comparações entre situações hoje verificáveis e circunstâncias de passados, de que não dispomos análogos actuais.

Há muito tempo que os dias, os meses ou mesmo os anos deixaram de ter qualquer utilidade como unidade de medida do tempo geológico. A vida de cada um de nós mede-se em décadas, e nem mesmo o século representa uma quantidade de tempo a que possamos dar um valor preciso. A nossa existência em nações e estados organizados começou há várias centenas de anos e, para cada um de nós, esse facto é já uma imensidão de tempo, tão distantes vão os momentos medievais tão obscuros. Nas histórias de infância, mil anos é a expressão de tempo que se usa para designar um tempo quase infinito na linguagem agora simbólica. No imaginário de todos nós passaram aventuras e contos de personagens e fantasmas com centenas ou mesmo milhares de anos de idade. São personagens quase eternas, representando tempos, para além dos quais a imaginação é já diminuída. Alguns, demasiado desinteressados da importância do rigor, confundiram tempos muito diferentes, lançando modelos confusos nas mentes de crianças e adultos. Não se entende a tolerância relativamente à absurda coabitação dos homens primitivos e dos dinossáurios, ideia que é comum, e quase consensual, na cultura actual...!

Para lá dessa fronteira, esboçam-se para a maioria das pessoas, algumas ideias se-meadas de mitos e imaginários obscuros. São as grandes civilizações da antiguidade, de que todos ouvimos explicações e relatos, e que hoje, pelas razões mais variadas, são objecto de interesse dos meios de comunicação. Os Sumérios, os Assírios e os Egípcios, representam algumas das mais antigas culturas, traduzindo-se em poucos milhares de anos a época da sua diferenciação identitária. São já memórias desfocadas e nebulosas as que registam estas civilizações, que relativamente ao homem actual, são quase tão distantes como desconhecidas. Podemos hoje visitá-las, como se fizessemos uma viagem ao obscuro e ao imaginário, tal a distância a que se situam das nossas

referências dominantes. O conceito de tempo geológico surge pois, neste quadro, como um corpo absolutamente estranho. Nenhum humano, por mais interessado que se possa mostrar, conseguirá interiorizar verdadeiramente a quantidade de tempo envolvido na duração dum qualquer fenómeno de natureza geológica, exceptuando, por certo, as manifestações, ocorrências e eventos extraordinários, geralmente súbitos e, não raro, catastróficos. Um sismo, por exemplo, ilustra a última afirmação, pois a sua duração mede-se geralmente em segundos, ou mais raramente em minutos. Um outro deste tipo de eventos, porventura o mais globalizado na comunicação social, foi o do maremoto (tsunami) que ocorreu no Oceano Indico em 26 de Dezembro de 2004, provocando mais de 200000 mortos. Já uma erupção vulcânica pode durar períodos que se medem desde horas até milénios. Em todo o caso, estes fenómenos são geralmente ocasionais e raros, sobretudo se tivermos em conta o curso, virtualmente infinito, das horas, dias ou anos.

Era inevitável a interrogação acerca da relação entre a mentalidade e cultura dos homens e esse conceito tão incerto e variável como é o tempo geológico. Literalmente, ele dizia respeito à duração e espaço de tempo envolvidos nas ocorrências e transformações de natureza geológica. Podia ser a poética abertura dum oceano, o intervalo entre o aparecimento e a extinção duma espécie fóssil ou mesmo a modificação das condições paleoclimáticas numa dada região continental. Estes, ou muitos outros fenómenos distintos, têm durações que se medem em quantidades de tempo geológico, isto é, milhões, dezenas de milhões ou mesmo centenas milhões de anos.

A lenta tomada de consciência desta realidade de difícil aceitação representou, de facto, ao longo dos últimos séculos, o nascimento duma referência nova, mas ainda tenuemente vulgarizada. Ainda hoje, a evolução da espécie humana funciona como marco miliário essencial na vaga aproximação que se faz dum tempo imenso, disponível ao cidadão. Dimensões superiores de tempo arrastam, em geral, as pessoas para sinuosas e tortuosas articulações de factos e entidades, lançando-as em obscuras circunstâncias de auto-localização. Era duro articular o vago entendimento de que alguns conceitos estariam provavelmente condenados à arrumação na classe dos exóticos e inacreditáveis. Afinal, talvez estas ideias fossem absolutamente sobrantes, numa qualquer mente, respeitosa e preocupada e interessada pela marcha passada e futura deste mundo. Paradoxalmente, parecia que, dum modo geral, as pessoas interiorizavam, mais fácil e correctamente, as mega-dimensões do tempo cósmico. Ocorria aqui lembrar o sentido do luar e o valor da Lua. Quase eternidades sorriam e suspiravam na mente de cada um de nós. As estrelas bem podiam ser eternas, a começar mesmo pelo próprio Sol. As galáxias eternizavam o tempo e o espaço, e cada um de nós, talvez com a serena ajuda das distâncias infinitas a que as percebíamos. O tempo era aqui bem representado pelo espaço e, por isso, mais compreensível. A chave da equação que relaciona estas duas variáveis, bem pode ser a luz e a sua velocidade.

O sonho poderia ser o encontrar um modo claro e sedutor para transformar o tempo quase infinito num fluido de textura sedosa e sensual, em vez da ideia pegajosa e demasiado adocicada, como quando as fontes doem de enjoadas. O tempo como entidade atraente e intrigante, capaz de nos mover no sentido do poente; o tempo

como brilho inimitável a pairar sobre os objectos, capaz de gerar inveja pela presença em sítios e momentos definitivamente perdidos; o tempo como apurador da forma e da textura, do tom e da linha, do complexo e do infinitamente simples; o tempo, enfim, como penhor dos silêncios ilimitados, dos enigmas obscuros, dos encantos mágicos para lá dos sinais percíveis da mudança. O tempo parece ser, para nós, o último sentido da perenidade, cada vez que nos apercebemos do seu prolongamento tão surpreendente, aqui mesmo ao nosso lado, em objectos que visitamos todos os dias, e não em brumas invisíveis, sem um alvo de referência como fundo.

O tempo constitui, assim, a mais eloquente ferramenta para a descrição duma história tão inacreditável como vaga e incerta: a história da nossa Terra. Há, por isso, dois tipos de tempo, e cada um deles contribui para a refinação plástica duma escultura tão irrecusável como uma aventura.

A história geológica do planeta depende do tempo como a persistência dos materiais depende da sua resistência e compactação. Em certa medida, o aprofundamento e aperfeiçoamento do conceito de tempo geológico influenciaram, duma forma insuspeita, todo o nosso entendimento da existência e do lugar que ocupamos aqui. Foi essa transformação que deu viscosidade e substância à nossa trajectória enquanto elementos finitos neste pedaço do cosmos.

Os dois tempos anteriormente referidos são, por analogia com a nossa existência de seres vivos, o tempo de posição relativa aos antecessores e aos descendentes, ou aos acontecimentos em nosso redor, e o tempo absoluto que nos habituámos a medir em unidades abstractas, com as quais designamos a nossa idade ou a de qualquer entidade exterior. Chamamos-lhes o tempo relativo e o tempo absoluto.

O primeiro, permite a construção duma ordem temporal nos factos e acontecimentos, sem contudo lhes atribuir uma posição precisa num sistema de referência. Pode, assim, estabelecer-se que um determinado evento geológico antecedeu ou sucedeu, no tempo, outro qualquer evento. Por exemplo, e utilizando a história geológica do território português, podemos com facilidade constatar que o maciço eruptivo que aflora na Serra de Sintra e que lhe dá corpo, é posterior às rochas sedimentares que ele rompeu e parcialmente “cozeu”. Há aqui uma relação simples, que se estabelece pelo facto de, para transformar materiais por acção da intensa libertação de calor que está associada à instalação dum maciço eruptivo, é obviamente necessário que esses materiais já existam previamente. Disso são exemplo os mármore de Pêro Pinheiro, que resultaram do intenso calor libertado pelo magma quente, quando este rompeu para formar o maciço, “cozendo” os calcários da parede externa. Nada, no entanto, nos exprime o tempo que passou entre os dois acontecimentos envolvidos: a formação dos calcários de Pêro Pinheiro num mar de plataforma e a posterior ascensão dos magmas que originaram o maciço granítico de Sintra. Terão sido 10 anos, 10 milhões de anos?

A comparação entre os momentos de ocorrência de acontecimentos geológicos faz-se de distintos modos, mas as relações geométricas entre as rochas ou marcas que deles resultam constituem uma das fundamentações mais consistentes. É fácil de aceitar, por exemplo, que, se uma rocha intercepta uma outra, esta é-lhe anterior.

O tempo absoluto, por outro lado, assemelha-se, em certa medida, a uma “certidão de nascimento” das rochas ou das ocorrências geológicas, correspondendo à atribuição dum valor cronométrico, normalmente expresso em milhões de anos. Dir-se-á, como exemplo, que o aparecimento das primeiras plantas com flor (Angiospérmicas) aconteceu há cerca de 130 milhões de anos³, ou que os basaltos que constituem uma boa parte do subsolo de Lisboa foram expelidos em erupções vulcânicas ocorridas há cerca de 80 milhões de anos.

A determinação prática da idade relativa das rochas rege-se, assim, por um conjunto essencial de princípios, que fundamentam o modo de pensar, e que são os alicerces da disciplina a que se chama Estratigrafia.

1. Princípio da Sobreposição - Numa sucessão sedimentar não modificada, as camadas mais recentes ocorrem sobrepostas às mais antigas. Naturalmente que as camadas que se acumulam cobrem as que já existem (Foto 1). Este princípio foi estabelecido por Nicolau Steno (Dinamarca, 1638-1686) que em 1669 estabeleceu que «...ao tempo em que um determinado estrato se estava a formar, toda a matéria acima dele era fluida e, portanto, nenhum dos estratos superiores existia ainda.» Steno formulou ainda outros conceitos neste domínio do conhecimento, ficando conhecido como o “pai da Estratigrafia”.



Foto 1 – A sobreposição de uma espessa sucessão de camadas depositadas ao longo de muitos milhões de anos e exposta por acção da erosão do rio Colorado; Grande Canhão do Colorado, EUA.

³ Essa é pelo menos a idade das mais antigas evidências que chegaram até nós, reconhecidas através de estudos micropaleontológicos.

2. Princípio da Horizontalidade Original – Os sedimentos são depositados em camadas horizontais e tendencialmente planas. Esta disposição pode ser concebida pela imagem do fundo do mar ou dum lago. Todavia, numa grande parte dos casos, as rochas acabam por adquirir posições muito diferentes e por vezes com inclinações pronunciadas, por acção de movimentos tectónicos posteriores (Foto 2).



Foto 2 – Camadas de rochas do Jurássico inferior e médio em N’Zala (Alto Atlas, Marrocos). A continuidade das camadas foi interrompida pela erosão à superfície, mas deve prolongar-se em profundidade, em resultado da inclinação posterior, a que foram sujeitas, por acção de movimentos tectónicos.

3. Princípio da Continuidade Lateral - Uma camada sedimentar tem registo físico em todas as direcções, afinando ou terminando lateralmente contra outra camada. Steno ainda estabeleceu que: «...os materiais formando um determinado estrato são contínuos à superfície da Terra, até que contactem com outros materiais rochosos”
4. Princípio da Intersecção - Uma estrutura ou rocha que intersecta outra rocha é mais recente do que a que é atravessada (Foto 3). Um corpo rochoso que não existe não pode ser cortado.
5. Princípio da Inclusão - Fragmentos de rochas incluídos e sedimentados numa camada de sedimentos são mais antigos do que a camada que os contém.
6. O registo fóssil resulta da evolução biológica, que é irreversível. Esta questão da maior importância para a interpretação da história do registo geológico, foi abordada pela primeira vez por William Smith (Inglaterra, 1769 –1839).



Foto 3 – Afloramento de rochas de idade Triássico superior (Coimbra). A falha visível e que abate o bloco do flanco direito, é posterior à acumulação das rochas, cortando-as.

A determinação dos valores que traduzem as idades absolutas atribuídas às rochas assenta num método complexo, designado por radiocronologia. Corresponde a um conjunto de técnicas que se baseiam no facto de certos elementos químicos, contidos nos minerais constituintes das rochas, possuírem isótopos radioactivos (a que se chamam os elementos-pai) que emitem radiações e partículas, transformando-se, assim, noutros elementos químicos (elementos-filho). Sabe-se que uma porção conhecida (por exemplo um quilograma) de um determinado isótopo radioactivo (elemento - pai) demora uma quantidade fixa e constante de tempo a transformar-se em metade dessa mesma quantidade inicial, gerando assim o respectivo elemento-filho. Este tempo é sempre igual para o mesmo elemento químico, independentemente da quantidade inicial. Isto é, tanto demora a transformar-se em metade, um grama do elemento-pai, como uma tonelada do mesmo elemento. Estas quantidades de tempo, a que se dão o nome de semi-vida, são características e exclusivas de cada elemento-pai e o seu valor é, como se disse, constante.

São normalmente grandes quantidades de tempo, sendo de cerca de 40 mil anos, o tempo de semi-vida do carbono ^{14}C , com o qual se datam frequentemente objectos e acontecimentos no domínio da Arqueologia. Nesta ciência, que estuda as ocupações humanas, as idades máximas que têm sido consideradas raramente ultrapassam 1 milhão de anos, o que, à escala do tempo geológico, é considerado muito pouco.

Noutros elementos químicos, as quantidades de tempo envolvidas são muito maiores. Como exemplos, note-se que ^{40}K - ^{40}Ar (decaimento de potássio 40 para argón 40) = $11,9 \times 10^9$ anos; ^{87}Rb - ^{87}Sr = $4,7 \times 10^{10}$ anos, o que permite a sua utilização para datar acontecimentos muito mais longos e muito mais antigos. Basta reparar que 10^9 anos são mil milhões de anos...!

A partir dum conjunto complexo de procedimentos em estações analíticas de grande precisão e rigor obtêm-se valores, que se supõe representarem, dum forma relativamente fiável, o tempo que decorreu entre a formação dum determinado mineral ou rocha e a actualidade.

Em muitos casos, todavia, é prudente aferir os dados assim obtidos, através de métodos de cronologia relativa, já que, não raro, ocorrem factores e transformações nas rochas e minerais que falseiam a aplicação útil da radiocronometria. Falamos de rochas que, em algum momento da sua existência, sofreram transformações associadas, por exemplo, a variações importantes da pressão e da temperatura, ou foram atravessadas por fluidos com soluções iónicas quimicamente activas. Estas modificações ocorrem amiúde, quando as rochas são sujeitas a episódios de enterramento ou pelo contrário, de distensão, por erosão das rochas supra jacentes.

Qualquer um de nós suspeita que cada ensaio de datação não passa de um exercício da mais pura especulação. De cada vez que alguém afirma que tal ou tal rocha tem 100, 150, 200 milhões de anos, tanto a valorização como o entendimento desses números não passam, porventura, de meros exercícios de credence, ou mesmo fé.

É certo que, apesar da consistência teórica da metodologia empregue e da minúcia e rigor tecnológicos dos equipamentos analíticos manipulados, estes valores devem sempre ser entendidos como quantidades inteiramente abstractas que, na melhor das hipóteses, representam boas aproximações a uma realidade intangível e inatingível. Com efeito, este é um tempo absolutamente imaterial, até pelo afastamento da sua dimensão da escala humana. Por outro lado, nada sabemos ainda acerca da possível plasticidade do tempo, a qual, a existir, poderá explicar a ressonância dos acontecimentos e uma regulação não-simples do desenrolar das materialidades.

Sempre assentámos a nossa noção de tempo na ideia de repetição dum motivo, dum processo, dum acontecimento. À escala do tempo geológico, este princípio pode vir a revelar-se inteiramente irrelevante e inútil.

O pouco conhecimento comum destas questões não contraria a normal suspeita da razoabilidade dum série de dúvidas e interrogações. Por um lado, a ideia de repetição com comportamento mais ou menos periódico pressupunha que as condições verificadas não sofriam alterações significativas durante a marcha dos eventos, e este princípio carecia gravemente de consistência em alguns domínios; por outro lado, na maior parte dos casos, o estabelecimento de relações de causa-efeito, não resistia a modelos simplistas ou deterministas. Por fim, permanecia, ainda e sempre, uma impossibilidade de testar muitos dos dados e modelos resultantes de metodologias adoptadas.

O tempo geológico, que permanecia a melhor medida da história do nosso planeta, apresentava elementos enigmáticos e complexos. As velocidades desarmónicas e os intervalos silenciosos desafiavam permanentemente a curiosidade e a insatisfação dos pesquisadores.

As propostas tão diferentes que, ao longo do tempo foram sendo feitas por autores tão variados, mostram que o caminho da fuga à convicção e a procura do entendimento e da quantificação, foi árduo e historicamente lento (ver Tabela 1).

Actualmente, cabe à IUGS (União Internacional das Ciências Geológicas), organismo filiado na Unesco, o estabelecimento e permanente actualização do chamado

calendário da Terra (International Stratigraphic Chart). As informações relevantes estão disponíveis online no sítio da Comissão Internacional de Estratigrafia. Esta actualização é levada a cabo mediante a conjugação de diferentes metodologias e tendo como princípio o melhor ajustamento possível aos resultados analíticos, existentes em cada momento. Grupos de trabalho especializados propõem, com base em dados provenientes de distintos processos analíticos, fronteiras temporais para as distintas divisões do tempo geológico. Estas fronteiras são, em cada caso, materializadas por um local da Terra que, após um complexo e exigente processo de aprovação, é classificado como GSSP (Global Boundary Stratotype Section and Point), e que tem a função de constituir o padrão dum determinado momento do calendário geológico. Geográfica e cronologicamente falando, fazendo justiça à excelente exposição em afloramento e à representação extensiva das rochas de idade jurássica, foi recentemente consagrado um GSSP em Portugal. Localiza-se no afloramento do Cabo Mondego (Figueira da Foz) e corresponde ao limite entre o Aaleniano e o Bajociano (Jurássico médio), que actualmente se posiciona há 171, 6 milhões de anos. (Foto 4).



Foto 4 – Afloramento do Cabo Mondego mostrando rochas do Jurássico médio. O martelo assinala a posição e o local que à escala de todo o planeta representa a passagem do andar Aaleniano ao Bajociano (há 171, 6 milhões de anos). Esta circunstância qualifica este limite com a qualidade GSSP.

De interior apreensivo, de testa franzida, era claro o reconhecimento do imenso trabalho que se apresentava pela frente. Poucas vezes, a noção da complexidade, e sobretudo da indiferenciação da tarefa, se apresentava duma forma tão clara e sufocante.

Capítulo 3

O TEMPO DAS MUDANÇAS

A história do nosso planeta é infinitamente interessante e, em larga medida, indecifrável. O conhecimento que podemos ter dos acontecimentos do passado depende em absoluto dos testemunhos, sinais, registos, indícios e marcas que deles resultaram e que puderam chegar até nós. Depende ainda, e duma forma decisiva, da nossa capacidade de interpretação desses sinais. Por isso, nunca teremos acesso a uma larga parte da informação, pois apenas uma proporção modesta dos testemunhos sobrou para a nossa observação. Podemos dizer que na maioria dos casos, é muito maior o tempo que decorreu sem que dele nos tenham chegado vestígios do que o que pode ser testemunhado por rochas ou indícios objectivos. Tal como hoje acontece e em parte podemos constatar, a Terra é modelada e modificada por um imenso leque de eventos, diferenciados por inúmeros processos cuja actuação ainda mal, conseguimos compreender.

O conceito de evento aplica-se bem a fenómenos excepcionais, (mais curtos uns e mais longos outros) que tiveram lugar ao longo da história do planeta e que ficaram testemunhados sob diversas formas no registo geológico. São influenciados interna e externamente por factores intrínsecos ou extrínsecos, e apresentam durações variando desde o quase instantâneo até às muitas dezenas de milhões de anos. Comportam um permanente e agitado conjunto de transformações, que abala a aparente estabilidade do planeta.

Esses eventos, com naturezas muito diversas, repetem-se com maior ou menor regularidade, e de acordo com padrões mais ou menos reconhecíveis. Uns têm padrões periódicos de ocorrência, ao passo que outros, ou não evidenciam clara periodicidade, ou são mais erráticos.

Esses eventos funcionam, de certo modo, como fronteiras de fracções de tempo, à semelhança com o que se passa no relato da história humana. A sua natureza excepcional faz deles, muitas vezes, marcas que servem para separar intervalos de tempo, permitindo mais facilmente contar ou tentar descrever a história completa.

O espectro de acontecimentos e eventos mais ou menos significativos, ao longo da história do planeta pode organizar-se nas seguintes temáticas, em função das

diferentes escalas a que se exprimem as respectivas durações (de acordo com Vera Torres, 1994):

Eventos climáticos	10 mil a 100 mil anos
Eventos magnéticos	100 mil a 1 milhão de anos
Eventos tectónicos	10 milhões a 100 milhões de anos
Eventos eustáticos	10 mil anos e mil milhões de anos
Eventos sedimentares	mil a 100 mil anos
Eventos biológicos	100 mil a 10 milhões de anos
Eventos oceanográficos	10 mil a 100 mil anos
Eventos vulcânicos	indeterminada
Eventos de impacto cósmico	100 mil a 5 milhões de anos

A cada tipo de evento está associado, numa forma simplificada, o intervalo típico de recorrência, expresso em milhares ou milhões de anos (Figs.1, 2).

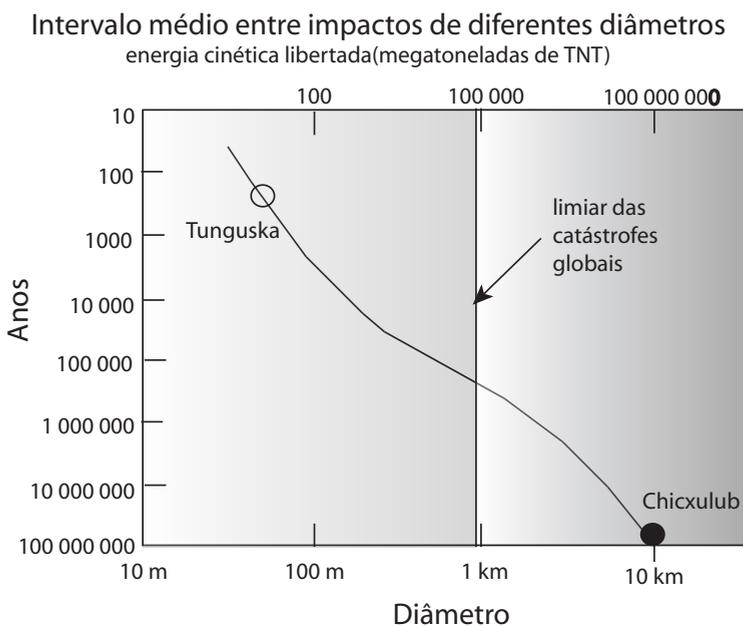


Figura 1 - Relação entre a dimensão dos corpos de origem cósmica que atingem a Terra e a periodicidade estatística dessas ocorrências. Assinalados como exemplos o que atingiu a Sibéria em 1908 (Tunguska) e o meteorito que provocou a cratera de Chicxulub no México, há cerca de 65 milhões de anos. Mod. Enciclopedia Britannica online, 2008.

Estes intervalos marcam, com elevada probabilidade, a frequência das ocorrências a que se referem, embora estas ocorrências tenham um comportamento errático, indeterminado, pelo menos na aparência. As durações são apenas indicativas, e há boas razões para admitirmos que elas sofreram modificações importantes ao longo do tempo geológico. Se tomarmos como exemplo o caso dos impactos cósmicos, verifica-se que, felizmente, a probabilidade de ocorrência desses acontecimentos, diminui à medida que aumenta a dimensão do corpo que choca com a Terra. Este facto é naturalmente favorável e faz todo o sentido, se nos lembrarmos que o número de corpos cósmicos no espaço é tanto maior quanto menor é a sua dimensão Fig. 1).

Muito certamente o comportamento das variáveis e dos controlos não se manteve imutável, tendo como consequência, a não aplicação do tão célebre Princípio do Actualismo. Este princípio estabelece que as leis naturais que regulam os processos geológicos se têm mantido imutáveis ao longo do tempo. É com base nele, e através do estudo dos análogos actuais, que se interpretam os processos do passado, que originaram a maioria dos produtos geológicos que hoje podemos observar.

Claro que existem grandes variações dentro de cada evento, facto esse que, exprime uma enorme diferenciação e o nível da magnitude, da escala e do âmbito desses eventos. Se, por um lado, a escala temporal a que tendencialmente os eventos se exprimem varia desde o instante até às centenas de milhões de anos, é também verdade que a expressão espacial que os caracteriza abrange igualmente uma imensa variação (Fig. 2).

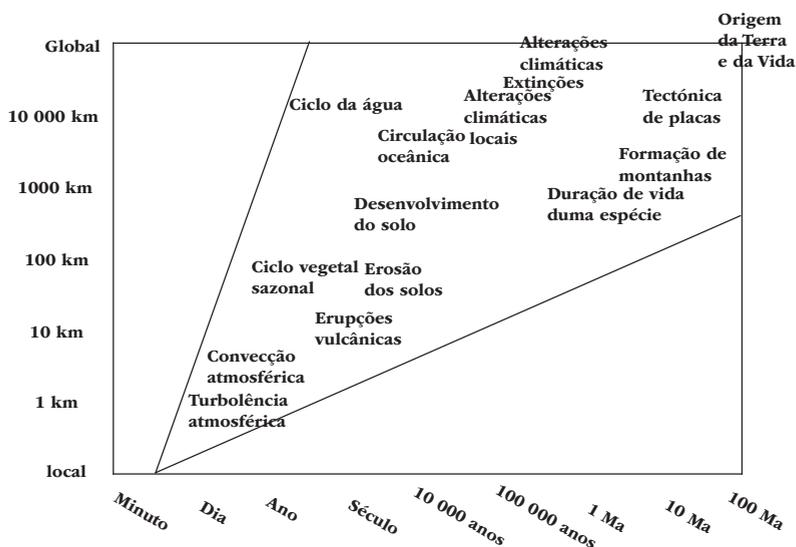


Figura 2 – Posição indicativa na escala espacial e temporal dos grandes eventos que exprimem processos de transformação na Terra. (adaptado de http://www.geosciences.univ-rennes1.fr/IMG/pdf/L1_Bio_La_vie_en_crises.pdf).

As grandes causas globais

O que se passa na Terra depende, em grande medida, da relação que o nosso planeta estabeleceu com o Sol ao longo do tempo. De acordo com Nichols (1999), as mudanças globais da distribuição dos climas são influenciadas principalmente pela quantidade de radiação solar que atinge a Terra, pela proporção dos gases com efeito de estufa na atmosfera e pela fisiografia da superfície do planeta.

As mudanças que eventualmente ocorreram ao nível da quantidade de energia que o Sol emitiu, no decorrer do tempo geológico, não terão tido influência detectável na organização global dos climas. Todavia, as alterações verificadas nas relações astronómicas terão definido um ajustamento sustentado dos climas, no decorrer desse mesmo tempo geológico.

O Projecto Apolo¹ colocou instrumentos na superfície da Lua que permitiram estabelecer, com rigor, que o nosso satélite natural se afasta de nós a uma velocidade de cerca de 3,83 cm/ano. Este afastamento é, em média, duas vezes mais rápido do que, por exemplo, o afastamento que se tem verificado, nos últimos 150 milhões de anos, entre a América e a Europa². Não deve, por isso, subestimar-se a influência daquele afastamento da Lua, ao nível dos mecanismos reguladores das marés, da desaceleração da rotação da Terra, etc. Por outro lado, em resultado de variações de vários padrões astronómicos que influenciam a Terra, pode ainda registar-se um lento mas sustentado abrandamento da velocidade de rotação em redor do seu eixo, originando um aumento gradual da duração dos dias.

Estudos recentes de sedimentos mareais antigos³ nos Estados Unidos (Utah e Alabama) e na Austrália sugerem que, há 900 milhões de anos (Proterozóico superior; ver tabela do tempo geológico no início), o dia teria uma duração de apenas 18,2 horas (Sonett *et al.*, 1996). Outros autores (Salgado-Laboriau & Câmara, 1989), propõem para há 2000 milhões de anos, valores que diminuem desde a actualidade (24 horas) até cerca de 15 horas. Com maiores velocidades de rotação, o ano teria portanto, mais dias, e os cálculos propostos (Sonett *et al.*, 1996), concluem que o ano solar teria naquela época remota, uma duração média de 481 dias. Trabalhos mais antigos, e com base no estudo de anéis de crescimento de distintos organismos de diferentes tempos, propõem uma duração do ano solar variando de 580 dias para o Precâmbrico⁴, até 375 dias no Cretácico.

Esta hipótese aponta para, por cada intervalo de 130 milhões de anos decorridos, um aumento médio de 1 hora, desde aquela altura do tempo geológico. Teremos que imaginar algumas implicações ambientais e fisiológicas que este facto poderá ter tido naqueles tempos recuados. Desde logo, a adaptação dos organismos com capacidade

¹ O Projecto Apolo foi desenvolvido pela NASA entre os anos de 1961 e 1972 e culminou em 1969, com o desembarque na Lua do primeiro homem (Neil Armstrong).

² A velocidade a que se afastam a Europa e a América do Norte corresponde, na prática, à velocidade de expansão do Oceano Atlântico.

³ Sedimentos que se acumulam em contextos ambientais que sofrem o efeito das marés.

⁴ Baseados no estudo de estromatólitos com 2000 milhões de anos.

de fotossíntese a ciclos de luz diferentes. O clima teria comportamentos diferentes, tendo em conta as diferenças inevitáveis no regime de ventos e na repartição da sazonalidade das temperaturas. Podemos ainda especular acerca da influência da maior velocidade de rotação sobre os equilíbrios fisiológicos dos seres vivos (animais e plantas superiores), dos seus tropismos em cada época e, talvez mesmo, das suas adaptações comportamentais como o tamanho, a reprodução, etc.

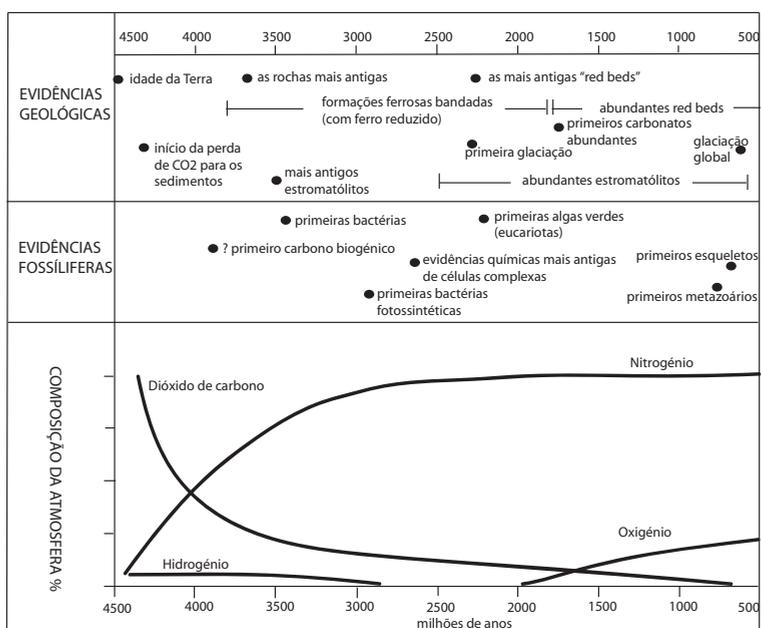


Figura 3 - Evolução da composição da atmosfera ao longo do tempo geológico, com a distribuição dos principais eventos biológicos e geológicos (cf. Brinblecombe & Davies, 1981).

Relativamente à distribuição de alguns dos gases com efeito de estufa na atmosfera terrestre, em função do curso do tempo geológico, verificou-se, de acordo com a figura 3, um decréscimo acentuado do CO₂ (dióxido de carbono), em simultâneo com o correspondente aumento de nitrogénio (azoto). Quanto aos teores de vapor de água (Arias, 2005), verificou-se em princípio, uma relação estreita com as temperaturas médias, bem como com a geografia climática.

A principal fonte do CO₂ inorgânico consiste nas emissões que ocorrem associadas às erupções vulcânicas, o que deixa supor a importância desta actividade, nas etapas mais remotas da idade da Terra e o controlo que essa actividade exerce sobre as mudanças climáticas globais. No entanto, como veremos, a influência da invasão dos continentes pela cobertura vegetal, a partir do Devónico, desempenhou, pelo contrário, um importante papel na redução do CO₂ atmosférico.

Verifica-se, por outro lado, uma estreita relação entre a actividade vulcânica e a tectónica de placas. A variação da actividade de expansão da crosta dos oceanos e da extensão das cristas onde essa expansão se verifica⁵ determina, por isso, ainda que indirectamente, as mudanças globais nos padrões climáticos

De acordo com esta forma de pensar, as etapas de fragmentação dos super-continentes serão as mais favoráveis para o aumento do CO² da atmosfera. Todavia, as geometrias de colisão de placas apresentam também um papel relevante no plano da actividade vulcânica, tal como pode ser observado em casos actuais como os Andes ou o anel de fogo do Pacífico. Por isso, o papel destas circunstâncias não deve ser diminuído no que toca à compreensão das concentrações de CO² nas atmosferas do passado.

São assim controladas as mudanças climáticas de longo termo, através da instalação duma alternância dos grandes intervalos com o predomínio de condições de estufa “greenhouse”, com concentrações elevadas do CO², com outros intervalos em que prevalecem condições de igloo “icehouse” e menores teores de CO² (Doyle *et al.*, 1994; van Andel, 1994; Hoffman & Schrag, 1999).

O aumento significativo da concentração do CO² atmosférico, durante o Mesozóico, (Figs. 4 e 5) poderia relacionar-se, à luz do raciocínio atrás exposto, com a fragmentação do supercontinente Pangea, que se terá iniciado durante o Triássico, e que terá originado, entre outras, a separação entre a América do Sul e a África.

A definição de intervalos globais de estufa (“greenhouse”) tende a auto-acentuar-se, dado que, nestas condições, o aumento do vapor de água atmosférico, que está associado à subida global das temperaturas, passa a reforçar aquele efeito. Inversamente, nos períodos igloo (“icehouse”), a existência de vastas áreas cobertas com neve e gelo acentua a reflectividade do planeta relativamente à radiação solar (albedo)⁶, concorrendo,

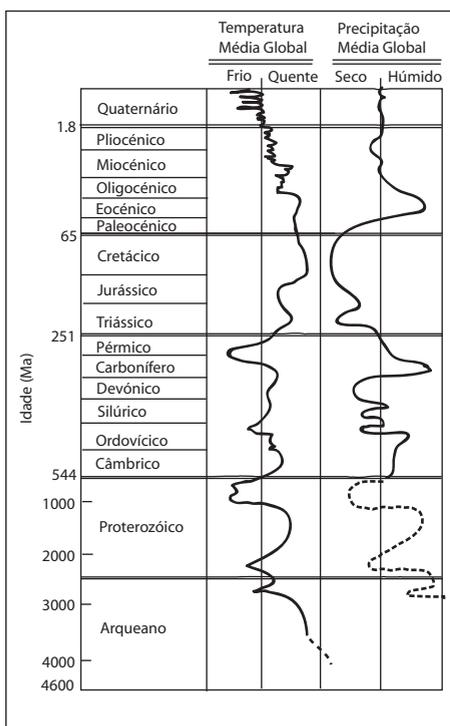


Figura 4 – Grandes tendências das variações globais da temperatura e da precipitação, no decorrer do tempo geológico. (Doyle *et al.*, 1994).

⁵ Exemplo da crista central atlântica, onde se situa o arquipélago dos Açores.

⁶ O albedo da Terra representa a relação entre a radiação solar reflectida de volta ao espaço e o total da radiação solar incidente. Depende do tipo de cobertura mas oscila entre 0,9 para superfícies cobertas de neve e 0,04 em áreas asfaltadas. As superfícies arenosas desérticas apresentam valores da ordem de 0,4.

assim, para acentuar o arrefecimento global e a expansão das grandes superfícies geladas até latitudes muito baixas.

Bastante tarde já, no decorrer do tempo geológico (a partir dos primeiros sinais de fotossíntese, há 2000 milhões de anos), verifica-se um constante e gradual aumento do oxigénio. Além disso, e de acordo com um maior detalhe proposto por Berner & Kothavala (2001), nos últimos 600 milhões de anos (a partir do início do Paleozóico), o teor de CO₂ diminuiu de forma constante até há cerca de 300 milhões de anos (Carbonífero superior) e, após um súbito aumento com máximo durante o Jurássico, voltou a decair até recentemente (Fig. 5).

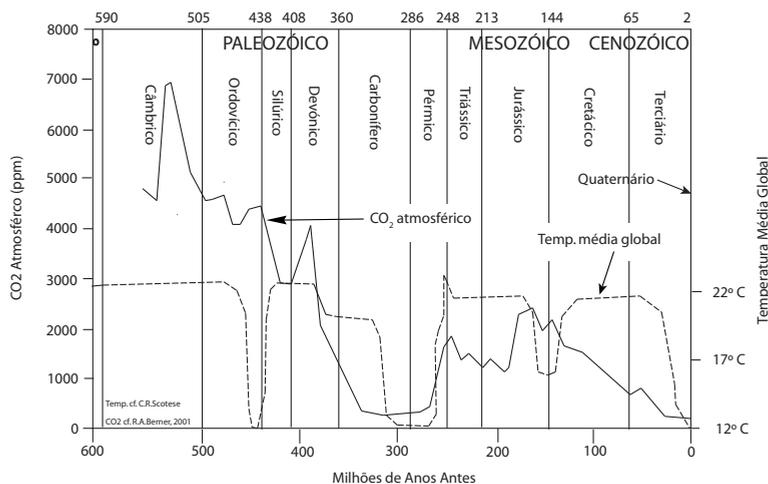


Figura 5 – Curvas de evolução do CO₂ atmosférico e da temperatura média global, desde o Câmbrico até hoje. Note-se que apenas durante o intervalo do Carbonífero superior ao Permiano inferior se verificaram níveis tão baixos como os actuais, de concentração de CO₂ e das temperaturas. CO₂ segundo R.A. Berner & Kothavala (2001) (GEOCARB III). Temperaturas segundo Scotese (2002).

Os dados instrumentais disponíveis, obtidos nos últimos 150 anos, indicam um significativo e rápido aumento da concentração de CO₂ como consequência das emissões industriais desde o século XIX. Todavia, ressalta de forma eloquente que, em certos momentos do passado geológico, prevaleceram condições de intenso efeito de estufa (Fig. 5), bem mais pronunciados do que os que se anunciam actualmente para um futuro, muito breve à escala geológica.

Hoje, os valores de CO₂ medidos para 2006 indicam 381.2 ppm (partes por milhão) que, comparados com os apresentados na figura 5, indicam níveis muito baixos, tendo em conta as estimativas propostas. Tomem-se, como exemplo, os cerca de 2500 ppm de CO₂ atmosférico estimados para o Jurássico superior. Face aos dados actuais, pode considerar-se, sem dúvida, que vivemos, neste momento, em condições de igloo (“icehouse”), embora, como se tem visto, se esteja a verificar um aumento sustentado

do CO², e também das temperaturas medidas. A relação destes aumentos com causas antropogénicas faz actualmente parte da agenda dos media e dos decisores políticos, embora as comunidades científicas não estejam de acordo em relação a muitos aspectos relacionados com este tema. No entanto merece destaque que, de acordo com o modelo proposto na figura 5, a variabilidade das concentrações de CO² na atmosfera evidencia uma grande amplitude e, obviamente não requer uma justificação baseada na influência da actividade humana.

A organização e distribuição globais das massas continentais relativamente às áreas oceânicas, bem como a incidência e orientação das cadeias montanhosas e cordilheiras, influenciam significativamente a geometria climática do planeta, bem como as mudanças globais dessa geometria. O simples facto de não ser hoje possível - dada a existência de dois cordões continentais orientados NS: África e América - a existência duma corrente equatorial que redistribua a energia ao longo do equador e até latitudes mais baixas, contribui para condições globais relativamente extremas, e em que as áreas polares frias são capazes de influenciar regiões bastante afastadas dos pólos (Namíbia, costa chilena, etc.), sem que tenha havido qualquer intervenção da actividade humana.

Estes e outros factores conjugados determinaram, ao longo do tempo geológico, mudanças de longo, médio e curto prazo na distribuição global dos climas. A tarefa de reconstruir os climas do passado passa, por isso, pelo reconhecimento das marcas que os climas e as suas transformações deixaram nas rochas, ao longo do registo geológico.

As transformações que se deram no passado, e as que estão em marcha nos nossos dias podem deixar marcas, mais ou menos profundas, nas rochas cujas géneses lhes são contemporâneas. Podemos apenas contar com sinais de uma parte de alguns acontecimentos e mesmo esses, de acordo com razões que normalmente mal conhecemos. Os sinais de grande parte dos acontecimentos e das suas transformações não chegaram até hoje, pelo que o seu reconhecimento é totalmente impossível.

Tudo se passa como se, por analogia, contássemos a nossa vida através dum álbum das fotografias que fomos tirando à medida do curso do tempo. Sabemos que, por vezes tiramos muitas em pouco tempo, ao passo que podemos passar longos períodos sem nenhuma foto. Outras ainda existiram mas foram perdidas ou desconhecemos o seu rasto. De modo idêntico se passam as coisas relativamente ao conhecimento da história do nosso planeta desde o passado mais remoto.

É, no entanto, possível, pela utilização de formas de pensar e de técnicas de observação e de análise, decifrar os códigos mais ou menos complexos que escondem a assinatura que as transformações do planeta deixaram nas rochas que delas foram, pelo menos em parte, as testemunhas presenciais. Doutras todavia, de que não nos chegaram vestígios, só podemos inferir a existência de longos e complexos mundos totalmente desaparecidos, que apenas podem povoar lugares para lá das curvas do nosso imaginário.

Sabemos que, para além de alguns registos históricos que ocasionalmente herdámos, e que nos testemunham em directo o comportamento de climas no passado, todas interpretações e conjecturas assentam em indícios indirectos, através dos quais julgamos poder reconstruir condições do passado e, comparando-as com outras, pôr as mudanças em evidência.

Mudanças climáticas

As condições climáticas no planeta têm uma história de mudanças a distintas escalas e velocidades variáveis. Muito antes do aparecimento do homem e da sua capacidade de intervenção na natureza, já a mudança era uma constante. Obviamente, nesses casos, as causas eram inteiramente naturais, mesmo que hoje seja consensual admitir que a nossa intervenção é capaz de se somar ou de contrariar a deriva natural da mudança dos climas. São conhecidos pequenos episódios, bastante bem documentados, com duração de poucas centenas de anos - o caso da chamada “pequena idade do gelo” na Europa e leste da América do Norte, que é colocada entre meados do século 15 e meados do século 19, caracterizada por um abaixamento generalizado da temperatura (Fig. 6). Pode ainda falar-se em episódios climáticos com ocorrências ainda mais curtas e originados por mudanças bruscas ao nível penetração da radiação solar através da atmosfera. O caso bem conhecido do chamado “1816, ano sem verão”, exemplifica este tipo de mudanças⁷. No outro extremo sabe-se hoje que mega-variações climáticas afectaram o planeta, duma forma global, durante centenas de milhões de anos (Fig. 4).

Existiu, portanto, grande diversidade de variações das condições climáticas, tanto no plano da expressão geográfica, como no da duração das transformações. As mudanças ocorrem como resposta a factores aleatórios ou de comportamento periódico (Mitchell, 1976). Como corolário essencial resulta o facto de que, em larga medida, as variações climáticas não poderem ser previstas, pelo menos à luz dos conhecimentos actuais.

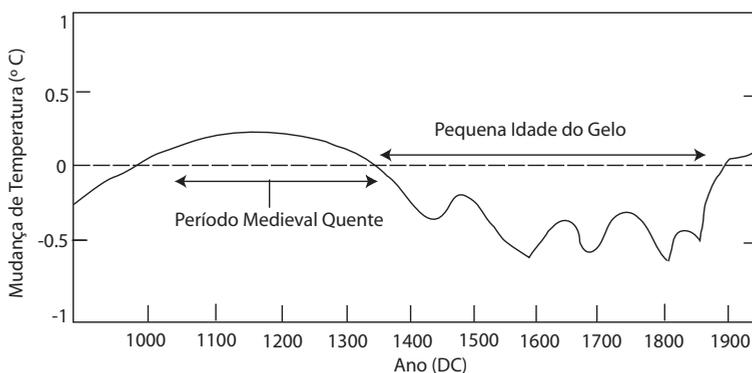


Figura 6 - Variações regionais da temperatura na Europa ocidental e América do Norte oriental, nos últimos mil anos (Bradley & Eddy, 1991).

Os diferentes factores de comportamento aparentemente periódico, indutores das mudanças climáticas, apresentam periodicidades muito variadas.

⁷ Uma das variações globais mais recentes e pronunciadas ocorreu na Primavera e Verão de 1816, ano que ficou na memória como o “ano sem Verão”. Como consequência das intensas emissões de poeiras e gases pela erupção do vulcão do Monte Tambora, em Sumbawa, na Indonésia, em 10 de Abril de 1815, o ano de 1816 foi anormalmente frio e chuvoso, originando culturas fracas, fome e epidemias, em todo o hemisfério norte.

O mais longo período, com 200 a 500 milhões de anos, está associado à viagem do nosso sistema solar através da galáxia e às variações da poeira galáctica (Williams, 1975; Huggett, 1991). Segundo alguns autores, durante a passagem dum ano galáctico⁸, a quantidade de radiação solar incidente sobre a Terra pode depender do espaço interestelar, atravessado pela órbita galáctica do sistema solar. Variações geradas deste modo, parecem induzir, ainda que numa forma mal conhecida, modificações no clima global. A ser assim, quando a Terra ocupou a posição actual no ciclo galáctico anterior, apareciam os primeiros répteis, e as trilobites, ainda existentes, caminhavam para a extinção.... Do homem, nem sinais ainda.

Existem outras variações de longa duração (10^6 a 10^8 anos... um milhão a 100 milhões de anos) cuja origem se pode associar a mecanismos genericamente conhecidos como os motores internos de natureza geodinâmica (acrecção e fragmentação dos supercontinentes e deriva continental associada, formação de cordilheiras, isostasia, entre outros). A estes mecanismos estão, como vimos, associados os ciclos longos de variação das concentrações de CO_2 na atmosfera, bem como os mais longos episódios de aquecimento e arrefecimento globais (Figs. 4 e 5).

Com periodicidades compreendidas entre 1 ano e 10^5 anos (100000 anos), ocorrem ainda mudanças externas, como as variações da radiação solar e da órbita da Terra em volta do Sol (Milankovitch, 1941). As mudanças climáticas globais, com escalas de tempo compreendidas entre 10 000 anos e 500 000 anos, parecem associadas às variações na repartição da radiação solar, em função dos períodos sazonais e da localização geográfica, expressa por variações na latitude. As variações na distribuição da radiação relacionam-se com três variáveis orbitais de maior significado: ciclos de obliquidade com duração de 41000 anos, como resultado de mudanças na inclinação do eixo de rotação da Terra (entre 22° e 25°); ciclos de excentricidade com durações de 100000 anos e 413000 anos, relacionados com a mudança de forma da órbita da Terra em volta do Sol (forma elíptica mais ou menos pronunciada); ciclos de precessão com 19000 anos e 23000 anos, que resultam da variação da distância entre a Terra e o Sol numa dada estação do ano). Mudanças internas tais como oscilações na actividade vulcânica, modificações da circulação oceânica ou da composição da atmosfera, são também relacionadas com a ocorrência de mudanças globais do clima. Ciclos curtos com a duração de alguns anos, podem deixar registos significativos, como o caso dos episódios de “El Nino”.

Existem muitos outros factores com comportamentos variados que interagem na definição e controlo dos climas. Compreender o modo como se deram no passado as transformações das condições climáticas chega a constituir agora um impulso quase febril. Imaginar um passado atravessado por desertos em locais insólitos, oceanos e monções aqui ao lado, florestas de espanto onde antes só houvera aridez, é irrecusável. A surpresa terá que, por algum tempo, dar lugar à minúcia e à paciência para ir mais longe no entendimento desses surpreendentes mundos.

Que ferramentas e que ideias poderíamos usar para pensar e reconstruir os climas do passado, tão remotos quanto possível?

⁸ O ano galáctico tem uma duração estimada de 305 milhões de anos; outros autores no entanto, apontam valores mais próximos de 240 milhões de anos.

1 - Como ler os climas antigos nas rochas?

A reconstituição das condições climáticas do passado será sempre um tema apaixonante e do maior relevo. O conhecimento e a compreensão do que se passou ao longo do tempo geológico são essenciais para entendermos os climas actuais e a sua evolução no futuro. No entanto, quaisquer que sejam os modelos dos climas antigos e seu nível de sofisticação, a sua aplicação e validação dependerão sempre de dados que só se encontram, directa ou indirectamente, nas rochas coevas. É, por isso, necessário encontrar uma chave para muitos dos códigos inscritos nas rochas com que nos cruzamos e que retêm mensagens essenciais sobre um sem número de variáveis, condições e factores, que influenciaram os climas antigos e os ambientes naturais com eles relacionados. Tais códigos envolvem os materiais rochosos no sentido estrito, incluindo as características químicas e mineralógicas a diferentes níveis de organização, bem como os vestígios de actividade biológica que encerram (Tabela 2).

Arquivo	Intervalo Mínimo de Amostragem	Intervalo Temporal (anos)	Informação potencial resultante
Registos históricos	Dia/hora	10^3	T,P,B,V, M,L,S
Anéis de árvores	Ano/estação	10^4	T,P,B,V, M,S,Ca
Sedimentos lacustres	Ano/20 anos	10^4 - 10^6	T,B,M,P, V,Cw
Corais	Ano	10^4	Cw,L,T,P
Carote de gelo	Ano	5×10^4	T,P,Ca, B,V,M,S
Polen	20 anos	10^5	T,P,B
Espeleotema	100 anos	5×10^5	Cw,T,P
Paleossolos	100 anos	10^6	T,P,B
Loess	100 anos	10^6	P,B,M
Aspecto geomórfico	100 anos	10^6	T,P,V,L
Sedimentos marinhos	500 anos	10^7	T,Cw,B M,L,P

Tabela 2 – Características de alguns dos principais tipos de arquivos com conteúdos importantes nas reconstruções paleoclimáticas (cf. Bradley & Eddy, 1991). Em cada caso são indicadas os limites mínimos, bem como a amplitude temporal, indicadores da resolução óptima. T – temperatura; P – precipitação; C – composição química do ar (a) e da água (w); B - informação da biomassa e dos padrões de vegetação; V – erupções vulcânicas; M – variações do campo magnético; L – nível do mar; S – actividade solar.

Algumas evidências paleontológicas

O registo fóssil a que podemos ter acesso permite um conjunto de observações que, após análise crítica, apoiam hipóteses de interpretação e explicação de muitos acontecimentos do passado geológico. Este registo inclui, numa forma geral, restos, impressões e marcas de organismos vivos e traços da sua actividade. Estas ocorrências dependem muito da natureza e modo de vida dos organismos vivos, e ainda, numa forma relevante, do complexo processo de fossilização, pelo que a leitura destes testemunhos deve ser cuidadosa e prudente. O espectro de vestígios fossilíferos é extremamente vasto e alargado, pelo que os dados e interpretações resultantes são igualmente muito variados. Incidem, não só sobre a natureza e anatomia dos organismos, mas ainda dos seus modos de vida, hábitos e comportamentos. Incluem restos de organismos superiores, microorganismos, animais e vegetais, e até bactérias.

O registo fóssil, para além de indicações anatómicas, fisiológicas e evolutivas, inclui por vezes informações acerca dos parâmetros ecológicos existentes ao tempo da existência dos organismos de que temos o registo fóssil. É sabido, por exemplo, que se reconhece em muitos casos, uma relação entre a existência de certos organismos marinhos (corais, foraminíferos, etc.) e a temperatura das águas.

Nos ambientes terrestres, embora a relação com a temperatura média seja mais complexa ou de interpretação mais difícil, são igualmente conhecidas dependências térmicas e genericamente climatéricas de muitos animais. Todavia, as plantas constituem, em geral, indicadores mais fiáveis das condições climáticas, pelo que os seus restos têm desempenhado um papel essencial nas reconstituições paleoclimáticas.

Os anéis de crescimento de algumas árvores podem fornecer-nos indícios, em contínuo, ao longo do período de existência das mesmas (Fig. 7).

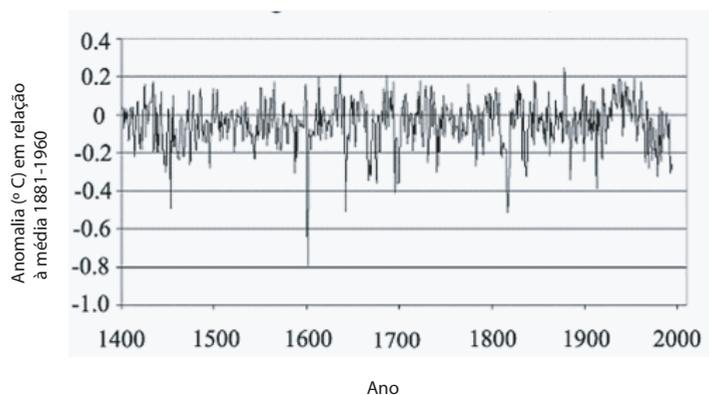


Figura 7 - Exemplo de interpretação a partir da análise dos anéis de crescimento numa árvore. (Briffa *et al.*, 1998). Os valores apresentados, exprimem anomalias de temperatura relativamente a um valor médio obtido para o intervalo entre os anos de 1881-1960.

Sabe-se, por exemplo, que a largura de cada anel de crescimento anual depende da precipitação desse mesmo ano, da qualidade ou contaminação da atmosfera envolvente, da estabilidade do terreno que serve de suporte, da interação com diferentes espécies biológicas (ex. insectos), etc.

Em corte transversal, os troncos das árvores mostram a repetição concêntrica de pares de anéis. Cada um destes pares é formado por um anel mais claro, correspondente ao crescimento primaveril, e um mais escuro, originado na última parte do crescimento sazonal (Verão e Outono). O estudo dos anéis de crescimento de árvores recentes, ou de vestígios incluídos em sedimentos do passado não muito remoto, pode assim desvendar informações de natureza paleoclimática⁹. Muitos destes restos fossilíferos de troncos ocorrem completamente silicificados. O processo de substituição da matéria vegetal por moléculas de sílica pode ser de tal modo lento e minucioso que ficam, com frequência, perfeitamente preservados, os detalhes dos tecidos e até das estruturas celulares.

Estão descritos, por exemplo, anéis de crescimento em madeira fóssil do Cretácico superior da Antártida, que indicam que, mesmo a latitudes de cerca de 70° S, o clima era quente (Francis, 1986). Estas informações preciosas obrigam a conceber quadros paleoclimáticos, para certos intervalos de tempo geológico, radicalmente diferentes dos que hoje se conhecem. É hoje comumente aceite que pelo menos durante uma parte do Cretácico, a Terra atravessou um período de intenso efeito de estufa, levando mesmo ao desaparecimento das calotes de gelo nos pólos.

Outras partes das árvores podem, em certas circunstâncias, fornecer informações úteis nas tentativas de reconstrução dos paleoclimas. Folhas de grandes dimensões estão normalmente associadas a climas quentes e húmidos, o mesmo acontecendo com a natureza linear e não ramificada dos seus contornos. Inversamente, as folhas pequenas e muito endentadas, prevalecem em climas frios e mais secos (Spicer, 1990; Francis, 1998).

Tal como as árvores, os corais apresentam igualmente bandas sazonais de crescimento, constituídas alternadamente por uma camada de inverno e outra de verão, com densidades distintas. A análise destas bandas permite, assim, reconhecer variações de curto prazo no comportamento das condições climáticas, designadamente oscilações nos ciclos de 11 anos das emissões solares, ou em fenómenos como o “El Nino”.

As árvores produzem, além disso, elementos de reprodução, como é o caso de pólenes e esporos. O pólen é uma das estruturas mais resistentes graças à inércia química da sua parede - a exina -, virtualmente indestrutível em meio anaeróbico¹⁰. Este facto, conjugado com o de ser produzido anualmente em números astronómicos (da ordem do milhão de grãos por flor), faz do pólen o fóssil mais comum do «registo geológico».

Muitos microrrestos orgânicos, como é o caso dos pólenes, constituem indícios significativos das tendências climáticas prevalentes ao tempo e na região onde terão sido produzidos. Todavia, não podemos deixar de ter em conta que muitas espécies

⁹ A Dendroclimatologia é a ciência que estuda os climas do passado através do conhecimento das árvores e dos seus anéis de crescimento.

¹⁰ Meio pobre ou desprovido de ar, e portanto, de oxigénio.

do passado deixaram de existir e, por outro lado, muitas das actuais não haviam ainda sido diferenciadas. Isto significa que as extrapolações de exigências climáticas de muitas espécies actuais para o passado são delicadas e incertas, mesmo respeitando o princípio da utilização de “o parente vivo mais próximo” como elemento comparativo. Para complicar ainda mais, estas interpretações exigem um cuidado particular já que, e com base em exemplos actuais, os pólenes e esporos podem percorrer grandes distâncias, levados pelo vento, facto que pode confundir a reconstrução dos zonamentos dos climas, em passados remotos. Por outro lado, a dispersão pelo vento, e também pela água, permite que se encontrem grão de pólenes e esporos em ambientes tão distintos como pantanosos, lacustres, fluviais, no fundo dos oceanos, e mesmo nas calotes de gelo.

A enorme abundância na produção destes elementos de reprodução vegetal, bem como a sua facilidade de dispersão geográfica por acção do vento, associada á sua dimensão microscópica e resistência química, são aspectos que fazem dos pólenes e esporos, entre outros microrrestos, elementos essenciais na datação de rochas hoje enterradas. Além disso, contrariamente aos macro fósseis, que só por sorte se podem encontrar nos tarolos das sondagens, os microfósseis são normalmente abundantes e acessíveis nos materiais recolhidos através da execução de sondagens para a indústria do petróleo, por exemplo.

Se as condições forem quimicamente favoráveis, verifica-se a sua conservação por longos milhões de anos, daí resultando uma fonte de informação paleoclimática potencialmente valiosa.

A própria existência de florestas e a sua distribuição no passado geológico podem contribuir para uma visão da organização dos climas, num determinado momento da história do planeta. Com efeito, o aparecimento de plantas terrestres dá-se progressivamente e, duma forma pouco diversificada, a partir, provavelmente, do Ordovícico médio (há cerca de 470-460 milhões de anos), que é a idade dos mais antigos esporos conhecidos, admitidos como tendo pertencido a uma planta julgada terrestre.

O registo fóssil conhecido indica que, por altura do Silúrico final, (417 milhões de anos), existiria já um flora terrestre estabelecida, embora com vegetação de pequena dimensão e pouco variada. De acordo com alguns investigadores (Andrews *et al.*, 1977; Spicer, 1990), o porte das plantas continuava reduzido entre o Silúrico médio e o Devónico inferior, mostrando, no entanto, uma tendência de aumento, desde valores indicativos da ordem de 20-30 cm até valores de 200-300 cm. Esta flora estava adaptada essencialmente a ambientes aquáticos pantanosos, em condições de alguma protecção do vento, que era certamente mais intenso e desabrigado, dada a escassez florestal. Com efeito, é lógico pensar que, em épocas anteriores à colonização vegetal dos continentes, e em particular com plantas de elevado porte, a circulação de ar junto ao terreno sofria uma fricção bem menor, favorecendo maiores velocidades e uma taxa de evaporação superior. Os efeitos seriam certamente mais visíveis nos climas de certas regiões e, por outro lado, a densidade de partículas em suspensão no ar seria mais elevada. A este facto não será alheia a provável criação, a par do aparecimento de uma cobertura vegetal evoluída, de condições de voo mais fáceis para insectos, dada a maior protecção relativamente ao vento. Pode, assim, pensar-se num reforço do papel dos insectos como agentes de fecundação vegetal, papel que estaria, até aí, reservado especialmente ao vento.

No Devónico superior (385-360 milhões de anos), há já sinais da existência de plantas de grande porte, uma significativa diversidade das espécies existentes, bem como uma dispersão geográfica generalizada, com evidentes adaptações a distintos habitats. É neste tempo que, de acordo com Retallack (1997), se dá um “súbito” aumento do diâmetro máximo do tronco das plantas, que salta duns 15 a 20 cm para valores já superiores a 1,0 m.

Durante o Carbonífero (360-300 milhões de anos), a multiplicação e acumulação de grandes quantidades de matéria vegetal ocorre preferencialmente em condições de abundância de água e temperaturas elevadas, como é o caso das regiões tropicais e equatoriais, onde havia árvores de grande porte que atingiam mais de 30 m de altura. Isto não significa que, em regiões mais frias, essa acumulação não possa ter sido expressiva, sobretudo se com água abundante.

Este aumento da diversidade e da biomassa vegetal, resultante da enorme expansão das florestas, aumentou gradual, mas significativamente, o teor de oxigénio da atmosfera através da fotossíntese. Por outro lado, nunca antes se havia fixado tanto carbono como nas florestas em franca expansão. Este facto concorreu, a uma escala nunca antes atingida, para a diminuição do CO² atmosférico que, naqueles tempos, seria várias vezes mais abundante que actualmente (Fig. 5). O resultado global poderá ter sido um pronunciado arrefecimento generalizado associado à significativa diminuição de gases atmosféricos geradores de efeito de estufa, com evidências conhecidas de glaciação e calotes polares no Carbonífero superior (Fig. 4).

No passado, as maiores acumulações conhecidas de matéria vegetal formaram-se durante o período Carbonífero (aproximadamente entre há 360 e 300 milhões de anos). Nesta época, existiam duas grandes massas continentais em aproximação, que futuramente iriam dar origem ao super continente Pangea. Uma, a norte, reunia o essencial do que mais tarde iria ser a Europa do Norte e a América do Norte; a outra, mais a sul, de grande extensão, e onde na época existia uma vasta calote polar, é conhecida como a Gondwana. O sul da Europa situava-se, em certa medida, sobre a linha que iria servir de cicatriz à colisão das referidas massas, e integrava a faixa tropical ligeiramente a sul do equador.

São destes tempos as grandes acumulações de carvão da Europa Ocidental e da América do Norte que serviram de reserva de energia essencial para a emergência e expansão da revolução industrial nos séculos XVIII e XIX. Estas massas de carvão resultaram da acumulação de grandes quantidades de restos de vegetação, em enormes áreas pantanosas, onde as florestas costeiras tropicais, tiveram um desenvolvimento invulgar.

Eram contudo florestas sem flores..., as quais, só muito mais tarde, iriam aparecer na cronologia da evolução biológica.

Alguns cientistas admitem que o estabelecimento das florestas em vastas áreas, nesta época, poderá ter tido uma influência significativa na vida nos oceanos, através do controle na distribuição global dos climas. A relativa escassez de oxigénio na atmosfera de então terá permitido, talvez em conjugação com outras razões, que raramente se tenham podido verificar incêndios de grande escala, de cuja existência eventual não se conhecem grandes evidências.

O estudo dos pólenes está também associado à compreensão de uma das mudanças mais importantes ocorrida ao longo da evolução biológica: o aparecimento das plantas angiospérmicas, isto é, as plantas com flores. Fósseis destas plantas estão documentados numa forma clara no Cretácico inferior (há cerca de 125 milhões de anos) (Friis *et al.*, 2005) pelo que, pode admitir-se a sua existência a partir do Jurássico superior.

Pode, portanto, verificar-se que existe uma grande variedade de evidências paleontológicas (as que se referem a seres vivos ou marcas por eles produzidas e deixadas, em rochas formadas no passado geológico) que permitem, através de interpretações mais ou menos elaboradas e fiáveis, a reconstituição de condições climáticas no passado.

Pode sentir-se alguma emoção por nunca antes se ter pensado na existência de distintos factos e nas circunstâncias neles contidas. O primeiro aparecimento das plantas com flor deixava imaginar um grande salto na ideia de natureza e na simples identidade das paisagens. As grandes florestas antigas, por certo muitas vezes luxuriantes e atravessadas pelo zumbido dos maiores insectos jamais existentes de que há registo, como por exemplo o *Meganeura*¹¹, não podiam deixar de surpreender.

A revelação da distribuição dos climas antigos, tão diferente da actual, despertava o sonho. Tal como ficara já claro, estes aspectos, cujos contornos são ainda hoje bastante imprecisos e polémicos, não deixavam, contudo, de constituir uma fronteira, daquelas que são capazes de separar o tempo em fragmentos, que todos reconheceremos.

Evidências em sedimentos marinhos

No domínio marinho podem acumular-se grandes quantidades de sedimentos carbonatados. Constituídos essencialmente por um mineral chamado calcite (carbonato de cálcio), têm sido utilizados como indicadores de determinadas condições paleogeográficas e com uma significativa assinatura paleoclimática. Na verdade, por razões que têm que ver com o comportamento químico deste mineral, a sua acumulação tende a ser mais fácil e rápida em mares de regiões quentes (faixas tropicais e equatoriais). São produzidos principalmente através de processos biológicos e bioquímicos (Tucker, 1981), ainda que, nalguns casos, a precipitação inorgânica seja dominante. São normalmente considerados como indicadores preferenciais de águas quentes e agitadas. Com efeito, a produção de carbonatos por organismos é preponderante em águas quentes com elevada produtividade biológica. Por outro lado, a agitação e a profundidade moderada, com frequência associadas à abundância de nutrientes, são geralmente estimulantes dessa produtividade. Esta produtividade em carbonatos nas águas quente e agitadas das regiões tropicais, é bem ilustrada nas fotos de muitos dos paraísos turísticos actuais, onde a exuberância das massas coralíferas, associada à composição calcítica das areias associadas, dão à água do mar, as cores azul-turquesa, tão difundidas pelos agentes de viagens.

¹¹ O *Meganeura* era um insecto voador e predador do Carbonífero, cuja envergadura das asas podia atingir 75 cm.

As grandes “fábricas” de carbonatos actuais, que são as regiões de activa construção de corpos recifais e de algas (Grande Barreira Australiana, Bahamas, e outras), situam-se dentro da faixa compreendida entre 30° N e 30° S de latitude. Este facto permite que, com as devidas limitações, se possa considerar a origem, o conhecimento e o modelo de construção de grandes corpos calcários actuais, como uma ferramenta útil na reconstrução dos climas e da paleoceanografia do passado geológico.

Não há razões conhecidas que não validem este espectro latitudinal para o passado, pelo que se admite geralmente que as grandes bioconstruções calcárias antigas testemunham condições idênticas às actuais. Claro que esta ideia tem de ser filtrada pela possibilidade de os organismos, que no passado geraram essas grandes construções calcárias, não terem tido as mesmas exigências ambientais que os supostos equivalentes actuais. No entanto, as variáveis químicas não terão sofrido alterações relevantes, excepto no que diz respeito à paleossalinidade, que pode ter variado significativamente ao longo do tempo.

Com efeito, para compreendermos a relação genérica que existe entre a precipitação dos carbonatos de cálcio, com a conseqüente acumulação de calcários, e as condições ambientais de âmbito climático, bastará termos presente uma ideia fundamental: “A precipitação e acumulação dos calcários são estimuladas por todos os processos que contribuam para a remoção do anidrido carbónico da água.” (Prothero & Schwab, 1996).

Os processos são vários, e dependem de muitas variáveis (temperatura, pressão, actividade orgânica, agitação, etc.), mas iremos apenas referir aqui a temperatura. Em teoria, a um aumento do CO² na atmosfera, como é o que se verifica desde finais do século XVIII, com o advento da revolução industrial, corresponde a criação de condições para a dissolução, e não precipitação, de carbonatos na água do mar. Desde essa época, as concentrações de CO² atmosférico aumentaram de cerca de 280 ppm para 381 ppm, o que não pode deixar de ser considerado muito significativo. Este efeito resulta do facto de que a um aumento da concentração de CO² na atmosfera corresponde um aumento da concentração de CO² dissolvido na água do mar, em resultado do equilíbrio que se estabelece entre os dois fluidos. Essa maior concentração de CO² produz, em combinação com a água, mais ácido carbónico, o qual inibe a precipitação dos carbonatos.

Todavia, e em sentido contrário, o aumento da temperatura da água do mar acentua a deposição dos calcários. Estas duas tendências estabelecem, assim, um quadro actual contraditório no que respeita a precipitação de carbonatos no mar. Por um lado, ela é contrariada pelo aumento do CO² atmosférico, mas por outro lado, estimulada pelo aquecimento global.

Todavia, os sedimentos carbonatados actuais e os calcários antigos formam-se, mais rapidamente e em maior volume, em mares com temperaturas elevadas, como foi e é o caso das regiões tropicais. Esta aceleração da precipitação dos carbonatos de cálcio, como resultado do aumento da temperatura da água, também se observa na água doce de muitos lagos.

Mesmo em nossa casa, sobretudo se vivemos em regiões abastecidas por águas ricas em bicarbonatos (calcário na linguagem comum), o fenómeno é fácil de reconhecer,

dato que muitas das tubagens domésticas de água quente, são rapidamente obstruídas por depósitos de calcário (nome vulgar da calcite ou carbonato de cálcio) que precipita no seu interior, originando a necessidade de substituição.

Naturalmente, a óbvia relação entre a variação na taxa de deposição do calcário e a variação da temperatura (variável essencial na definição dos climas), permite transpor este modo de pensar para a reconstrução dos climas antigos. Os grandes domínios de latitudes mais baixas (mais próximas do equador), com maiores temperaturas e condições apropriadas para uma intensa actividade biológica e inorgânica na deposição dos calcários, podem assim ser reconhecidos, nos seus traços essenciais, durante as várias transformações do passado geológico.

O actual território continental de Portugal, por exemplo, encontrou-se durante praticamente todo o Mesozóico (Triássico, Jurássico e Cretácico), em condições de latitude variável, mas sempre entre a faixa de 30°N e 30°S, ideia que pode ser apoiada pela importância da deposição de calcários nesta região, durante esse intervalo de tempo. São conhecidos os enormes volumes de calcários existentes no território português (Serras de Sicó, Aire, Candeeiros, Montejunto, Arrábida, etc.) que se acumularam, em grande parte, durante o Jurássico e Cretácico, justamente em momentos que corresponderam a latitudes francamente inferiores às que actualmente ocupamos na geografia global.

Como se sabe, a relação entre os continentes e a posição dos pólos varia ao longo do tempo, não só porque a posição dos pólos sofre modificações, mas sobretudo pela deriva dos continentes, associada à abertura e fecho dos oceanos.

Evidências em sedimentos acumulados nos continentes

Nas áreas continentais (actuais e antigas) acumulam-se sedimentos que, sob distintas formas, registam a assinatura das condições climáticas existentes ao tempo da acumulação. O estudo dos diferentes sinais que as rochas antigas encerram, relativamente às condições climáticas, permitiu pôr em evidência as profundas variações que se verificaram ao longo do tempo geológico. As variações climáticas nestas regiões foram induzidas, não apenas pelo facto de as grandes circulações globais sofrerem modificações ao longo do tempo, mas também, em virtude de a existência e posição relativa dos continentes e oceanos se alterar profundamente.

Os referidos sinais provêm dum conjunto muito variado de rochas e estruturas sedimentares. O que de essencial distingue as áreas continentais das áreas oceânicas são os processos de desmantelamento das massas rochosas. Com efeito, nos continentes as rochas estão em contacto directo com os agentes erosivos físicos e químicos, tornando-os particularmente sujeitos aos processos destrutivos, de que resulta a produção de detritos que se irão acumular nos oceanos. O contacto com a atmosfera rica em oxigénio, com a água líquida e sólida, a exposição às variações de temperatura, a colonização biológica fazem da epiderme dos continentes um registo impresso das condições climáticas e das suas variações com o tempo. A compreensão de todos estes processos, deverá permitir conhecer melhor o que se passa hoje, abrindo o caminho para o entendimento do que ocorreu no passado.

Os lagos e os sedimentos lacustres

À semelhança do que se verifica actualmente, no passado existiram lagos de distintos tamanhos, formas e profundidades, dispersos pelas antigas regiões continentais. Muitos foram salgados, ainda que a maioria tenha sido certamente de água doce. A avaliarmos pelo que se passa hoje, os tamanhos e as profundidades terão sido muito variáveis. O mar Cáspio (salgado), por exemplo, tem uma superfície de 372 000 km² (um pouco maior do que quatro vezes a área de Portugal continental). O lago Baikal (água doce), na Sibéria, atinge 1742 m de profundidade, em contraste com o lago Eyre da Austrália, que tem uma área de 9300 km² e que, apenas algumas vezes por século, fica coberto com uma fina camada de água. A literatura científica apresenta muitos casos de identificação e estudo de lagos antigos, registados em formações sedimentares, algumas com grandes extensões (Prothero & Schwab, 1996)¹².

Os lagos têm uma grande capacidade para registarem mudanças climáticas de ciclos longos, de ciclos curtos e de carácter sazonal. Isso deve-se a várias ordens de razões:

1 - Os lagos são normalmente pouco profundos e isolados no interior das regiões continentais, reunindo em todo o seu volume, as influências da atmosfera das regiões onde se situam. Por outro lado, como locais fechados e topograficamente deprimidos têm, em geral, como sistema de acumulação de sedimentos, um funcionamento prolongado e quase contínuo, recebendo influências directas da precipitação/evaporação e da escorrência, a partir das bacias de drenagem dos rios que convergem para a sua superfície (Kutzbach & Street-Perrott, 1985). Esta característica confere-lhes uma elevada aptidão para guardarem, nos sedimentos acumulados, o registo de modificações importantes ao nível do clima, como é o caso das mudanças no regime de precipitação. Contudo, para épocas muito recuadas no tempo, a sua existência relativamente curta limita o alcance das interpretações inseridas em ciclos longos. Com efeito, os lagos apresentam ciclos de vida típicos de entre 100 e 100000 anos para lagos pequenos, e 2 a 3 milhões de anos para os maiores, embora estejam descritos exemplos que duraram até 40 milhões de anos (Olsen, 1986).

2 - As variações do nível dos lagos têm normalmente expressão no modo como os sedimentos acumulados se empilham, em sucessões mais ou menos espessas. Podemos imaginar sedimentos mais grosseiros a chegarem às margens, provenientes dos relevos circundantes. Se o nível estiver a baixar, estes sedimentos têm tendência, tal como as margens, para migrarem em direcção ao centro do lago. Se o nível estiver a subir, verifica-se o contrário, isto é os sedimentos tendem a ficar retidos nas áreas mais marginais do lago. O resultado destas oscilações é o empilhamento, ao longo do tempo, de camadas alternadamente grosseiras e finas, reflectindo, em pormenor, o comportamento das pequenas

¹² Lago triássico nos EUA - Utah, com 130 000 km², lago pleistocénico na Austrália com 110 000 km², lagos terciários da Bacia do Douro - Espanha, com largas dezenas de milhares de km²

oscilações sazonais do nível da água, bem como as grandes tendências de expansão e contracção das áreas ocupadas pelo lago, que se verificam no decorrer de intervalos longos de tempo.

O estudo destas tendências permite interpretar o tipo de clima existente, bem como o modo como as condições climáticas da região foram evoluindo durante a existência do lago. Como exemplo, bastará acompanharmos a redução drástica de área inundada que o lago Chad sofreu nas últimas décadas, em grande parte por influência da acentuação das condições de aridez das regiões circundantes.

3 - A natureza dos sedimentos acumulados no fundo dos lagos pode também fornecer pistas paleoclimáticas. Se a mistura das águas por acção de correntes de convexão térmica ou de agitação pelo vento for pouco expressiva, isso favorece a criação de condições pouco oxigenadas no fundo dos lagos, onde os restos orgânicos se vão acumulando, levando a que se empilhem grandes quantidades de matéria orgânica. A existência de sedimentos lacustres com grandes concentrações de matéria orgânica (de que são exemplo no Jurássico superior a formação geológica de Cabaços na Serra de Montejunto, ou a formação de Vale Verde no Cabo Mondego) testemunham elevada produtividade biológica, mais provável em condições climáticas quentes e húmidas.

Por outro lado, sob condições de acentuada aridez, e em lagos de intensa evaporação, que preferencialmente possam apresentar alguma ligação com zonas marinhas, acumulam-se grandes quantidades de sais de sódio e potássio. De facto, no registo geológico antigo, são frequentes casos com estas características. As concentrações de sal-gema de Loulé hoje em fase de exploração mineira (clima de tendência árida no Triássico superior) formaram-se em condições similares às descritas.

4 - Em lagos próximos de áreas montanhosas e frias, com a ocorrência de congelação na estação invernal, é frequente a acumulação de sedimentos em finas bandas alternadas (claras e escuras). As bandas escuras correspondem à acumulação no verão, com elevada produtividade orgânica, ao passo que as bandas claras, pobres em matéria orgânica e mais ricas em detritos arenosos, estão associadas às épocas frias e de degelo nas áreas limítrofes. Nas regiões glaciais, estas alternâncias sedimentares tomam o nome de varves. Em depósitos antigos podem, pelas razões expostas, fornecer preciosas indicações para as reconstituições paleoclimáticas.

Os sedimentos lacustres numa forma geral pela sua estreita relação geográfica com as áreas continentais e os seus climas e pelas extensões normalmente moderadas que apresentam, são bons espelhos de climas antigos, em particular os que envolvem regiões emersas. Recebem muita influência directa dos continentes e de certo modo são excelentes para modelizar a relação entre a sedimentação, o clima e a tectónica pois funcionam em parte como miniaturas dos domínios oceânicos, onde podem ocorrer também, ambientes costeiros deltaicos, planícies fluviais, etc.

Os depósitos originados pelo vento

A acção do vento como agente de transporte de partículas sedimentares é conhecida de todos. O movimento das partículas provocado pelo vento designa-se por transporte eólico, e pode ocorrer em praticamente todos os ambientes terrestres. Todavia, nas regiões com pluviosidade significativa, a identificação dos vestígios destes mecanismos é normalmente mascarada pela escorrência da água superficial e sua migração no subsolo.

À luz dos conhecimentos existentes, e com base na observação dos sistemas actuais, pode facilmente assinalar-se a relação estreita entre a maioria dos depósitos e morfologias de origem eólica e as condições de acentuada aridez climática. Sublinhe-se que aridez climática nem sempre está associada a elevadas temperaturas, sendo conhecidas regiões com aquelas características em zonas de latitudes elevadas.

No entanto, actualmente, as áreas de intensa aridez, associada à persistência de sistemas de alta pressão atmosférica (os anticiclones), concentram-se no intervalo compreendido entre 20 e 30 graus de latitude (em ambos os hemisférios). Este facto leva a que os depósitos antigos de origem eólica (por exemplo o “Navajo Sandstone” nos USA) tenham também sido utilizados em reconstituições de paleolatitudes. A reconstituição do funcionamento dos sistemas eólicos do passado permite aperfeiçoar o conhecimento dos paleoclimas coevos a esses sistemas, de acordo com as ideias expressas na Tabela 3.

Depósito	Informação paleoclimática
Areia eólica	Direcção do vento; aridez.
Sistemas deposicionais eólicos	Direcção do vento, paleolatitudes.
Poeira eólica nos fundos oceânicos	Direcção dos ventos; mudanças climáticas nas regiões continentais.
Cinzas vulcânicas	Direcção e sentido dos ventos.
Calhaus com superfícies eolizadas	Direcção e sentido dos ventos.

Tabela 3 – Sumário das relações conhecidas entre alguns tipos de depósitos eólicos e os parâmetros cuja interpretação lhes está associada.

Os depósitos eólicos mais comuns e que preenchem muitas vezes o nosso imaginário dos grandes desertos, bem como o de certas regiões costeiras, assumem a forma de dunas, que muitas vezes se distribuem em extensos campos ou cordões dunares. Quem não conhece as eloquentes paisagens dunares que nos eram mostradas nas reportagens do velho rali “Paris-Dakar”?

Estes grandes sistemas eólicos que hoje conhecemos podendo atingir centenas de quilómetros de extensão, também existiram no passado geológico e, é por isso legítimo

pensar em vastos domínios áridos e por vezes tórridos, nesses tempos remotos. Em casos excepcionais, pode haver preservação integral de dunas ou partes significativas de campos dunares, como é o caso da formação “Navajo Sandstone” do Jurássico inferior, no oeste americano, que representa o mais extenso vestígio dum paleo deserto que se estima ter ocupado uma área superior a 600000 km² (Foto 5).



Foto 5 – Aspecto de areias eólicas de idade Jurássico inferior, invulgarmente preservadas; “Navajo Sandstone, Zion National Park; EUA.

Do Sahara actual, diz-se que não deverá deixar grandes vestígios, pois o que vemos hoje são dunas em movimento que não têm espaço para pararem e se acumularem, pelo que essas areias irão na maioria acumular-se algures no Atlântico, para onde estão a ser sopradas. Pode, por isso admitir-se, que muitos outros desertos do passado, não deixaram memória, e só uma interpretação subtil e minuciosa, poderá um dia dar-lhes existência.

A circulação global da atmosfera, expressa pelo regime dos ventos dominantes em certas regiões, tem um papel inesperadamente importante no transporte de partículas de pequenas dimensões que por esse facto, podem percorrer grandes distâncias e espalham-se por vastas áreas oceânicas. Acumulam-se muito lentamente, a ponto de um depósito com 1 cm de espessura levar entre 5000 a 50000 anos a formar-se. Os depósitos resultantes, que ocupam extensos domínios das planícies abissais oceânicas, são conhecidos como as argilas vermelhas dos grandes fundos.

Nem todas as partículas que constituem estas argilas vermelhas foram levadas pelo vento, já que uma parte significativa corresponde a materiais muito finos, arrastados em suspensão nas águas oceânicas. Estes materiais, apesar de se reconhecerem em todo o planeta, apenas ficam preservados nos domínios mais calmos e isolados, como são os grandes fundo oceânicos, a vários quilómetros de profundidade.

Já todos tivemos a oportunidade de conhecer a nebulosidade poeirenta de certos dias que, em alguns casos, se exprime pela queda de chuva lamacenta. São geralmente eventos de circulação de poeira proveniente de grandes áreas desérticas que, por vezes, atingem regiões como o nosso território continental ou, com maior frequência, o arquipélago da Madeira. As partículas do sedimento eólico típico têm um diâmetro inferior a 0,2 milímetros (ou seja 200 micra), embora o limite inferior não possa ser definido. Significa isto que o vento pode transportar grandes quantidades de partículas muito finas (inferiores a 4 milésimas do milímetro como é, por exemplo, o caso de cinzas proveniente de erupções vulcânicas). Estas, em virtude da sua dimensão, são capazes de permanecerem muito tempo em suspensão no ar, e após viajarem, não raro em trajectórias orbitais, podem acumular-se, muito lentamente, nas vastas áreas oceânicas.

Com base num estudo de sondagens efectuadas no fundo do Atlântico oriental (costa norte-africana), alguns autores (De Menocal, 1995) calcularam que, por ano, são lançadas cerca de 500 milhões de toneladas de poeiras eólicas nos fundos oceânicos.

Uma origem eólica é igualmente atribuída ao “loess”. Nas regiões geladas ou nas épocas de glaciação, as vastas áreas cobertas com gelo influenciam a circulação atmosférica, originando ventos fortes e persistentes. A disponibilidade de partículas finas, associada à escassez de vegetação, permite o transporte e acumulação, sobre vastas regiões de centenas de quilómetros, de um depósito fino a que se dá o nome de “loess”. Estes depósitos são comuns na Europa oriental, China e regiões centrais dos Estados Unidos da América. Quando reconhecidos nos depósitos antigos, estes sedimentos podem ser usados como diagnóstico de climas gelados e ventosos.

Os rios e os sedimentos aluvionares

Os rios que percorrem vastas extensões de área continental são testemunhas activas das características dos climas por onde passam, e podem registar, ao longo do tempo, as transformações importantes que esses climas possam sofrer. Os seus traçados são influenciados pelo relevo e pelos tipos de rochas das regiões que atravessam, mas também pela vegetação, o regime das estações do ano, as chuvas, os ventos, etc. Estes factores e muitos outros interagem, formando um sistema muito complexo. O resultado é o comportamento do rio expresso através do seu traçado, do tipo de canais diferenciados, desde a planície de inundação e até da configura o da foz. Os rios podem, numa parte do seu curso, ser muito erosivos e, nos sectores mais a jusante, acumularem grandes volumes de sedimentos aluvionares, levando   constru o de vastas planícies de inunda o.

No passado, em continentes certamente diferentes, e sob condi es climáticas variadas, os rios existiram igualmente. Alguns deles deixaram o testemunho directo da sua ac o, construindo espessas séries de camadas sedimentares, que constituem hoje restos preservados das suas planícies de inunda o e dos canais que as sulcaram (Foto 6).

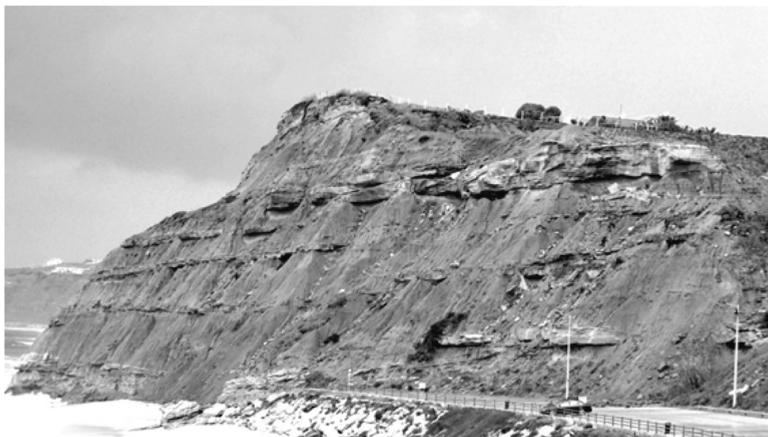


Foto 6 – Exemplo em afloramento, do registo duma planície aluvionar com a ocorrência de vários episódios de canal fluvial, ao longo do tempo (registados em corpos arenosos salientes e mais claros). Jurássico superior, região de Santa Cruz, Torres Vedras.

Podemos observá-los e estudá-los através da leitura de muita informação encriptada nos grãos de areia, nas rochas, nas camadas e suas geometrias e nas séries sedimentares que, um pouco por todo o lado, nos rodeiam. Esses rios transportaram água dessa chuva antiga, drenaram relevos hoje talvez arrasados e desaguaram, em certos casos, em oceanos hoje desaparecidos. Frequentemente, plantas e animais ocuparam os seus vales em erosão e as suas planícies em fase de assoreamento. Formaram-se solos e, quase milagrosamente, alguns deles ficaram parcialmente conservados. Se os olharmos e decifrarmos, podemos levar a imaginação a reconhecer paisagens, muitas vezes nas margens de canais fluviais onde, estação após estação, se foram registando as marcas do comportamento dos rios, da atmosfera, das chuvas, das plantas e até dos animais.

Sob certas condições climáticas caracterizadas por uma pluviosidade anual compreendida entre 400 e 600 mm (1 mm de precipitação corresponde a 1 l/m²), que podem ser exemplificadas por algumas regiões mediterrânicas, os solos aluvionares formam, no seu interior, umas concreções constituídas por carbonato de cálcio (normalmente calcite). Estas concreções, quando muito abundantes, podem coalescer, formando autênticas crostas mais ou menos contínuas e tabulares, paralelamente à superfície do terreno. Pela sua natureza e resistência à erosão, a sua conservação em sucessões de rochas antigas é relativamente frequente, constituindo, pela sua presença, um excelente indicador de condições climáticas do passado e, eventualmente, das transformações climáticas ao longo do tempo.

Em solos antigos de regiões áridas aparecem também com frequência dois minerais que, pela sua presença, são igualmente bons diagnósticos de climas com escassez de água líquida e temperaturas elevadas – a paligorskite (também conhecida como atapulgite) e a sepiolite. Estes minerais de natureza fibrosa são silicatos muito ricos em magnésio e apresentam uma grande variedade de utilizações industriais (tintas, lamas de sondagens, medicamentos, etc.).

Muitos outros tipos de solos antigos podem deixar assinaturas nas rochas, mediante as quais se reconstruem condições climáticas diferentes das actualmente existentes e paisagens para sempre desaparecidas. Os solos ricos em alumínio e ferruginosos são, contrariamente aos cálcicos, indicadores de climas com condições vigorosas de alteração das rochas, o que quer dizer chuva abundante e temperaturas elevadas. Ocorrem, em geral, nas regiões tropicais húmidas e equatoriais.

Certas rochas e minerais são assim, indicadores precisos de condições climáticas específicas. Umas, falam-nos de terras quentes e áridas, sulcadas por rias secos e por vezes torrenciais, em cujas margens encrostadas crescem rarefeitas plantas resistentes; outras, dão conta de histórias antigas de terras húmidas, sufocantes de quentes e muitas vezes invadidas por uma vegetação densa, penetrante e variada, onde as chuvas são quotidianas e as formas de vida muito diversas. Esta leitura nas rochas enriquece e torna rigorosa a nossa interpretação das paisagens antigas e dos seres que as testemunharam.

Os depósitos relacionados com as regiões geladas

As regiões geladas situam-se normalmente a latitudes ou cotas elevadas. Caracterizam-se pelo predomínio de baixas temperaturas onde, e por esse facto, a água se encontra normalmente no estado sólido. Em épocas passadas da história da Terra verificaram-se modificações significativas das condições climáticas globais. Estas, um pouco à semelhança das variações globais do nível do mar (designadas como variações eustáticas), obedeceram a diferentes ciclos de mudança. Uns ciclos, muito longos (dezenas a centenas de milhões de anos) e com grandes amplitudes, e outros, mais frequentes, mas mais rápidos e de menor efeito (centenas de milhares de anos). Vimos já que as causas dos grandes ciclos se prendem provavelmente com a alternância de intervalos de “estufa” e de “igloo” na superfície da Terra, como consequência da concentração relativa dos gases contribuintes para o efeito de estufa, em particular o CO². Os ciclos mais curtos dependem, por outro lado, das variações das condições orbitais da Terra em volta do Sol, bem como também de oscilações periódicas da quantidade de radiação por este emitida.

As glaciações, além de obviamente estarem associadas a determinadas condições climáticas que não são propriamente as mais apropriadas para a expansão da biodiversidade, são acompanhadas por outras modificações globais da maior importância.

Em virtude da concentração de grandes volumes de água nas calotes polares, o nível global dos oceanos desce, tendo como principal consequência a redução significativa das áreas de plataforma continental. Este facto pode ter levado, no passado, a importantes quebras na produtividade biológica e ao desaparecimento de um significativo número de domínios ecológicos, dos quais dependeriam muitas espécies. Por outro lado, constatou-se que abaixamentos significativos do nível eustático dos oceanos (nível global) puderam conduzir a modificações no padrão das correntes, gerando condições para que as águas profundas, pobres em oxigénio, tenham ascendido à superfície, provocando episódios de mortalidade em massa.

Os sedimentos que se acumularam em condições de temperaturas muito baixas em ambientes glaciais e em relação com a presença de água no estado sólido apresentam características que podem documentar tais situações. As superfícies de abrasão com estrias, a presença de depósitos grosseiros e caóticos conhecidos como os tilitos, bem como as acumulações de “loess”, são evidências directas da presença de gelo, ao tempo da acumulação. Os tilitos, que são depósitos de aspecto caótico e mal calibrado, mostram grandes blocos, que frequentemente apresentam estrias na sua superfície provocadas pelo arrastamento sobre o fundo, sob a acção do gelo em movimento. Os processos de arrastamento de massas gelo nas zonas montanhosas cobertas por glaciares, além de acumularem fragmentos grosseiros em geometrias chamadas mo-reias, provocam erosão dos vales com o típico perfil em U, excelente diagnóstico de condições climáticas glaciais (Foto 7).



Foto 7 – Paisagem com um vale em U, exemplo típico dum modelado por acção do movimento de glaciares, sob condições climáticas bem mais frias do que as actuais. Vale de Manteigas, Serra da Estrela, Portugal.

Todavia, nem sempre a atribuição de rochas com estas características a processos glaciares é inequívoca, facto que só pode acentuar-se se tivermos em conta o intervalo de tempo que entretanto passou.

A ocorrência de “dropstones”¹³ no interior de sedimentos marinhos e a ocorrência de sedimentos laminados designados por varves, testemunham a presença de gelo na

¹³ “Dropstone” é um calhau estranho no interior do sedimento marinho ou lacustre, que se julga resultar da queda no fundo a partir da fusão dum iceberg que o transportaria.

água (mar ou lago). Na verdade, diversos autores têm descrito distintas origens para estas “dropstones” (Emery, 1955; 1963; Gilbert, 1990). Calhaus de grandes dimensões, podem ser transportados por massas enredadas de algas flutuantes percorrendo grandes distâncias. Por outro lado, árvores inteiras com as raízes podem ser capazes de mobilizar blocos de pedra que atingem diâmetros de 3 a 4 metros, e podem ser transportados até vastos espaços oceânicos, presos aos fragmentos de madeira flutuantes (Gilbert, 1990; Bennett, Doyle & Mather, 1996).

Alguns tipos de fissuras em V nos sedimentos superficiais, chamadas marcas de crioturbação, são indícios de baixas temperaturas. Estas podem ainda ser interpretadas a partir do estudo dos isótopos de oxigênio e carbono dos sedimentos, cujas variações reflectem mudanças térmicas na atmosfera e na água, onde precipitam alguns minerais. Por fim, são conhecidas, com base nos estudos actuais, as relações estritas existentes entre as associações florísticas e as tendências climáticas onde essas associações ocorrem. Estas relações têm sido utilizadas por analogia, para reconhecer, no passado, as características de climas, em termos de temperatura e de humidade.

2 - Episódios de glaciação global

Nos últimos dois milhões de anos ocorreram quatro episódios maiores de glaciação, tendo, cada um deles, duração da ordem das centenas de milhares de anos. Contudo, se recuarmos muito mais no tempo, verificamos que estes eventos não só se repetiram como tiveram amplitudes e durações muito mais pronunciadas (Fig. 4). Deve contudo notar-se que a distribuição dos episódios de glaciação maiores não é homogénea pois, pode verificar-se que (Fig. 4) por exemplo, durante todo o Mesozóico (250-65 Ma) e a parte inicial do Cenozóico, não está reconhecido nenhum evento importante arrefecimento global. Claro que quanto maior é o recuo temporal maior é a escassez de dados existentes e, portanto, menor é o rigor e o detalhe destas reconstituições dos climas antigos. É, por isso, necessário olhar com reservas estes grandes eventos de glaciação, pois muitos deles assentam em modelos escassamente fundamentados, particularmente os mais antigos.

Há cerca de 2300 milhões de anos, durante a Era Paleo-Proterozóica (2500-1600 milhões de anos), que corresponde ao início do Eon Arqueano, ficou registada a ocorrência dum evento de glaciação que terá durado cerca de 400 milhões de anos. Esta duração, que está muito longe de ser consensual entre as comunidades científicas, é seguramente muito incerta e excessiva, o que se deve, em grande parte, ao facto de ter ocorrido em tempos muito remotos, dos quais pouca informação nos chegou.

Actualmente, as rochas que mostram vestígios desses acontecimentos ocorrem sobretudo na América do Norte, em território canadiano, onde têm sido descritos tilitos e alguns exemplos de “dropstones”.

Entender o que se terá passado nesses tempos extremamente remotos é uma operação muito complexa. De facto, sabe-se muito pouco sobre a disposição de continentes e oceanos nessa altura e, por outro lado, grande parte das rochas dessas épocas, ou já desapareceram ou estão profundamente modificadas, tornando muito especulativa a sua interpretação.

Todavia, a maioria dos dados aponta para uma glaciação, com influência em latitudes tidas como normais (acima dos 40°, como parece ter acontecido em épocas bem mais recentes). Este é o primeiro evento glacial que deixou um registo consistente, embora estejam descritas evidências idênticas, com uma idade de 3000 milhões de anos. Os dados sugerem que a actividade bacteriana (cianobactérias), com consequências idênticas às da fotossíntese, poderá ter aumentado significativamente a quantidade de oxigénio na atmosfera, que até esse momento era muito escassa. O metano, então abundante e com forte efeito de estufa, combinou-se por oxidação com o oxigénio produzido, gerando CO² e água, criando assim, condições comparativamente mais favoráveis para o arrefecimento global¹⁴

Os modelos apontam, por outro lado, para uma luminosidade solar equivalente a cerca de 70% da actual, a qual, com o metano existente então, foi, no entanto, capaz de manter temperaturas tórridas (apontam-se valores superiores a 60° Celsius).

Há cerca de 700 milhões de anos, a Terra encontrava-se, de novo, totalmente gelada, de acordo com alguns cientistas. Esta ideia, que é conhecida como o estádio de “bola de neve”, não é, no entanto, aceite por muitos, até porque a hipótese dum planeta virtualmente congelado durante milhões de anos casa dificilmente com a persistência da vida. Nessas épocas quase totalmente desconhecidas, a disposição de massas de terra e de oceanos à superfície do planeta era profundamente diferente do que se passa actualmente, embora pouco continuemos a saber, ainda hoje, sobre isso.

Admite-se que um grande continente agrupado há cerca de 1100 milhões de anos, chamado Rodínia, se encontrava, 400 milhões de anos mais tarde, em fase inicial de fragmentação e separação. Desse processo, terão resultado três fragmentos maiores: a Laurentia, equivalente aproximado à actual América do Norte, que na deriva resultante se dirige para o hemisfério sul, o cratão¹⁵ do Congo, que ocupa uma posição mais central e um terceiro conjunto de fragmentos continentais (Antártida, Austrália, Índia e Arábia), que se dirigiram para o hemisfério norte. A fragmentação e separação dos blocos continentais referidos foram acompanhadas pela abertura e expansão dum novo oceano de grande dimensão: o oceano Pantalassa.

Os vestígios de glaciação deixados nas rochas desta idade encontram-se em praticamente todas as áreas continentais da actualidade, o que permite supor que o evento climático afectou a generalidade do planeta. Todavia, mais surpreendente é o facto de regiões que na época se situavam, ao que se pensa, a latitudes próximas do equador, apresentarem igualmente sinais de glaciação, como é o caso da Austrália.

É hoje muito difícil compreender, e portanto explicar, a origem desta circunstância, embora a ideia de uma Terra completamente gelada esteja muito longe de ser consensual. Contudo, em vários locais, alguns particularmente exuberantes na “costa

¹⁴ O CO², apesar de ter efeito de estufa, é muito menos eficaz que o metano, o que permite compreender o arrefecimento surgido.

¹⁵ Um cratão é um fragmento de continente antigo e consolidado, que serve de “âncora” a bacias sedimentares e depressões marinhas.

dos esqueletos”, situada na costa atlântica da Namíbia, ocorrem evidências geológicas, bastante consistentes com aquela hipótese, compostas por tilitos, imediatamente sobrepostos por espessas séries de calcários. Este facto reforça a ideia de uma presença glacial importante, associada a uma descida pronunciada do nível dos oceanos, logo seguida por um aquecimento geologicamente rápido, com uma subsequente subida do nível do mar e sedimentação acentuada de calcários. O modelo da “bola de neve”, ainda que estimulante, é ainda bastante incompleto. No entanto, a ideia de mudança intensa pode ter concorrido para um “acentuado renascimento biológico”, tal como veio a verificar-se no início da Era Paleozóica.

Há cerca de 440 milhões de anos, durante a parte final do período Ordovício, a Terra entrava novamente num período glacial, severo, mas relativamente curto. De facto, os últimos dados apontam para que, passados 10 milhões de anos, o planeta estivesse já novamente sob condições de intenso efeito de estufa, com os teores em CO² a atingirem valores quinze a vinte vezes superiores aos actuais.

No entanto, este período de glaciação apesar de curta duração, parece estar associado a uma das mais importantes extinções globais da história da vida. Com efeito, os dados associados a este evento climático, apontam para uma percentagem de 60% de espécies de invertebrados marinhos, que desapareceram para sempre.

É necessário dizer que, nesses tempos, todas as formas de vida eram marinhas e bastante primitivas. Merecem destaque as trilobites, artrópodes abundantes e variados então, que vieram a desaparecer bastante mais tarde, no final da era Paleozóica. As mudanças relativamente a hoje são tão grandes que, nessa época, o norte de África ocidental se encontrava próximo do pólo sul, tendo conhecido intensa glaciação.

Mais tarde, há 310 milhões de anos, e logo após uma época de clima muito quente e húmido, durante a qual se deu uma grande expansão da biodiversidade, sobretudo no que diz respeito à vegetação terrestre, acontece um novo período de glaciação planetária. Esta glaciação, ocorrida durante a segunda metade do Carbonífero e o início do Pérmico (entre 310 e 290 milhões de anos), tem sido considerada como a mais severa dos últimos 500 milhões de anos.

Nessa época, as áreas continentais estavam agrupadas em duas grandes massas: a Laurasia, a Norte, e a Gondwana, a Sul, em parte separadas por um oceano em expansão, embrião do Tétis. Encontravam-se sob um frio intenso, e as calotes polares de gelo desciam até latitudes de 30° que, comparadas com o que se passa hoje, correspondem às latitudes de Agadir (Marrocos) ou Cairo (Egipto), tomando apenas o hemisfério norte como exemplo. As referidas calotes ocupavam áreas particularmente vastas da massa continental mais meridional, ao passo que as regiões equatoriais estavam cobertas por extensas florestas húmidas, que mais tarde iriam constituir as enormes reservas de carvão da Europa.

De certo modo, podemos dizer que a emergência económica da Europa ocidental, ocorrida no final do século XVIII e século XIX, se ficou a dever em parte, às condições paleogeográficas e paleoclimáticas existentes sobretudo durante o período Carbonífero. A revolução industrial não teria sido possível se o carvão, como principal fonte de energia nessa altura, não existisse ou não estivesse disponível como recurso.

Durante a maior parte da Era Mesozóica (Fig. 4), o clima global apresentou essencialmente um comportamento de estufa, com elevados valores médios das temperaturas, concentrações comparativamente altas de CO² na atmosfera e predomínio de níveis elevados da água dos oceanos. Não se registaram episódios maiores de glaciação, tanto quanto o registo geológico deixa entender, embora esta questão seja ainda objecto de algumas divergências entre os investigadores. Esta hipótese parece poder ser confirmada, pelo menos em parte, pela circunstância de, durante este largo intervalo de tempo, os oceanos apresentaram normalmente, níveis da água elevados, o que sugere uma reduzida quantidade de gelo acumulado nas regiões polares.

Dados recentes têm posto em causa a ausência total de calotes polares durante o Cretácico (Price, 1999). Todavia, existem indícios dum aquecimento significativo durante o período Cretácico, o último da Era Mesozóica, precedendo um arrefecimento global e duradouro, a partir do início da era seguinte, a Era Cenozóica. As transformações globais do clima durante esta era dão-se numa forma descontínua pois, quer o Paleocénico quer o Eocénico, são períodos tidos como globalmente quentes e húmidos. Gradualmente, e a partir sobretudo do Oligocénico, as condições globais sofrem uma alteração maior no sentido do arrefecimento. Ainda durante o Miocénico, ocorrem intervalos em que as condições são bastante quentes, embora seja a partir dessa altura que se verifica uma rápida degradação no sentido do arrefecimento.

Entre outros factores, a deriva continental expressa pela migração e conseqüente afastamento da Austrália, da África e da América do Sul relativamente à Antártida, parece ter tido um papel decisivo no aparecimento e posterior fortalecimento da chamada corrente circum-Antártica, gerando-se, assim, através dum mecanismo retro-alimentado, um aumento significativo do efeito Albedo, acentuando-se o arrefecimento global.

Para se ter a noção da influência da natureza da superfície terrestre, na quantidade de radiação solar reflectida para o espaço exterior, basta verificar que a capa de gelo reflecte cerca de 90% da radiação recebida, ao passo que a água líquida reflecte 20% e o solo entre 30 e 70 %. Há, por isso, uma enorme diferença entre a capacidade de reflexão solar dos oceanos, e mesmo dos continentes, quando estão e quando não estão cobertos com gelo.

Este arrefecimento atrás referido tem, todavia, efeitos mais marcados no hemisfério sul, dado que a camada de gelo ártico seria bastante dispersa e, em áreas continentais como a Europa, dominavam condições de floresta quente, bastante densa e luxuriante. A assimetria climática entre os dois hemisférios era pronunciada nessa época.

Há cerca de 2,5 milhões de anos, próximo do início do que se chama a Era Quaternária (esta designação foi entretanto rediscutida e o intervalo de tempo tem sido integrado na Era Cenozóica, embora a decisão final esteja suspensa), a Terra entra num franco período glacial, verificando-se então a expansão muito significativa dos gelos, a partir das regiões árticas. Esta expansão vai acontecer em quatro episódios maiores de glaciação (1,6 a 1,3, 0,9 a 0,7, 0,55 a 0,4 e 0,08 a 0,01 milhões de anos.), alternando com estádios inter-glaciais, caracterizados por condições mais amenas, tendo ocupado, em cada caso, vastas extensões da Europa do norte e da América. As calotes de gelo atingiram latitudes próximas dos 40 ° Norte (Portugal, por exemplo). No Hemisfério Sul, a calote de gelo ocupou também vastíssimas áreas de oceano.

É importante, para nos situarmos no tempo, que, por esta altura, os homínídeos primitivos já existiam, finalmente!

Efeitos das glaciações

As glaciações, enquanto episódios de abaixamento global das temperaturas, são um aspecto visível de mudanças climáticas. Estas mudanças exprimem-se, tal como é de esperar, na migração das linhas que separam diferentes condições e tendências de humidade e temperatura. As faixas climáticas que hoje estabelecem um padrão de distribuição da cobertura vegetal e da fauna associada aos respectivos ecossistemas sofreram deslocações importantes nos últimos 2 a 3 milhões de anos. Uma excelente evidência desse facto é a profusão de gravuras e pinturas em regiões actualmente integradas no deserto do Sahara, com representações de animais tropicais e de cenas de caça, hoje totalmente insólitas e improváveis nos mesmos locais. Evidenciam, por isso, a existência de migrações importantes de partes de fauna e flora, no sentido da conservação do ajustamento às condições climáticas, elas próprias em migração.

O oceano e o nível global das suas águas (nível eustático) registam igualmente, numa forma significativa, a influência de episódios de glaciação. Uma parte importante das águas oceânicas em evaporação, acumula-se nas calotes de gelo, em particular nas regiões polares, levando a que o nível das águas desça numa forma significativa.

Calcula-se que, se todo o gelo das actuais calotes polares fundisse, isso corresponderia a uma subida de cerca de 65 metros no nível dos oceanos (Flint, 1971). No último máximo glacial durante o Pleistocénico, o nível global dos oceanos foi da ordem de 120 metros abaixo do actual, pelo que, se pode estimar em 180-200 m a amplitude de variação glacio-eustática, isto é, a que resulta das variações de expansão das calotes polares. Todavia, dados recentes apontam para que essas variações não se verifiquem numa forma homogénea ao longo de toda a superfície dos oceanos, embora as diferenças registadas não alterem a estimativa global.

Estas subidas e descidas do nível global dos oceanos não têm forçosamente a mesma expressão em todas as regiões. Com efeito, as áreas cobertas anteriormente por calotes de gelo, que entretanto foi fundindo, são aliviadas numa enorme carga, pelo que tendem a soerguer-se relativamente às outras, que não foram aliviadas do referido peso. Estão reconhecidas taxas de levantamento em várias regiões como o Alasca, a Escandinávia, entre outras, que oscilam entre vários metros e vários centímetros por 1000 anos, verificando-se que esta taxa foi amortecendo ao longo do tempo, após o início do actual período interglacial, há cerca de 18000-20000 anos. Este ajustamento isostático (uma espécie de movimento que corresponde à compensação do alívio do peso da calote de gelo entretanto desaparecida), que se traduz numa subida das áreas continentais onde se verifica, contrária, nessas regiões, a subida do nível do mar, provocando uma redução ou mesmo anulação do seu efeito. Pode, por isso, acontecer que o nível global dos oceanos esteja a subir e, numa dada região, o nível do mar desça, desde que a velocidade de subida da área continental seja superior à velocidade de subida do nível global dos oceanos.

Para além destes mecanismos indutores de variações do nível do mar, as variações de temperatura das águas oceânicas são também capazes de provocar subidas ou descidas, por dilatação ou contracção térmicas. Por outro lado, estas mudanças de temperatura interagem de formas complexas, modificando os padrões das correntes oceânicas e

dos climas, gerando assim, mecanismos de retroactividade e equilíbrios pontuados na geografia e transformações climáticas e, em seguida, na biogeografia.

Os efeitos das variações climáticas em geral, e das glaciações em particular, mostram-se ainda, de forma por vezes exuberante, nas paisagens. Quer directamente, por intermédio da acção modeladora do gelo, quer indirectamente, em relação com as variações do nível do mar, associadas às glaciações. Estes aspectos concretizam-se por exemplo no reconhecimento da modelação exercida pelo gelo nos vales com perfil em U (exemplo o Vale de Manteigas na Serra da Estrela) (Foto 7). Por outro lado, a observação dos sistemas de terraços fluviais que formatam as bacias de muitos rios, leva ao reconhecimento em terra, das variações do nível das águas do mar. Esta descida, que acompanha a acumulação de gelo nas calotes polares, provoca um desequilíbrio nos perfis das redes de drenagem das áreas continentais relativamente ao chamado nível de base. O desequilíbrio força, no imediato, a escavação e aprofundamento das linhas de água, provocando aquilo a que, em geral, se dá o nome de incisão fluvial, incisão esta que se verifica mesmo em regiões remotas muito afastadas das áreas de acumulação das calotes. Deste modo, aumenta significativamente a quantidade de detritos que, arrancados nas áreas continentais, são arrastados para as zonas costeiras e, por fim, transferidos por correntes costeiras, para as maiores profundidades oceânicas, através de avalanches ao longo do talude continental. Extensas regiões costeiras planas, inundáveis e muitas vezes repletas de aluviões são assim destruídas, sofrendo mudanças significativas nas configurações topográficas.

Nos grandes vales fluviais, ficam em geral bem marcados os sucessivos degraus destes episódios de escavação, vulgarmente conhecidos como terraços, que aliás se podem também encontrar, nas áreas costeiras de escavação e erosão por acção do mar. Deste modo, para as áreas mais costeiras, o progressivo afastamento da linha de costa, bem como a escavação e incisão dos canais e a erosão das aluviões, podem conduzir a importantes modificações da paisagem.

Algumas destas modificações foram já testemunhadas por antepassados nossos do Neolítico, que viveram nas margens de alguns dos mais importantes rios, em áreas que, ou estão hoje submersas, ou foram erodidas e escavadas. Claro que se admitirmos estas transformações, elas terão tido lugar sobretudo num contexto de arrefecimento climático com maior persistência do frio, das estações com gelo e neve e da adaptação da fauna e flora a modos de vida diferentes.

As paisagens associadas à acumulação de gelos em grandes massas regionais, como as que hoje se podem observar na Antártida ou no Alasca, ou mesmo aquelas que na periferia se relacionam sazonalmente com as descritas, existiram em vastas áreas da Europa ocidental, tendo como já se viu, deixado registos em latitudes tão baixas como a de 40° (Serra da Estrela, Portugal). Morfologias e modelados topográficos típicos destas condições estão ainda hoje bem visíveis, testemunhando, numa forma clara, as condições a que, certamente, poderemos voltar um dia, se o clima reentrar num ciclo de arrefecimento.

As paisagens retêm um enorme volume de informação que, conhecidos os códigos da sua correcta leitura, constituem o testemunho de muitas mudanças no passado.

Mudanças paleomagnéticas

A utilização da bússola como instrumento de orientação global, que para quase todos corresponde a uma articulação de gestos simples e familiares, é possível apenas porque a Terra tem um campo magnético. Muito antes de se compreender como funcionava este campo magnético, já os homens haviam aprendido a utilidade dum instrumento como a bússola, cuja primeira referência escrita aparece no final do século XII, e que era já comum entre os navegadores portugueses e espanhóis nos séculos XV e XVI. Todavia, a primeira reflexão organizada sobre o magnetismo terrestre, chamada *De Magnete*, foi publicada em 1600 por Gilbert, na qual a Terra é comparada a um ímã gigante com dois pólos opostos (in Vera Torres, 1994).

O campo magnético apresenta variações de pequena escala ao longo do tempo, quer na sua orientação, quer até na intensidade. Todavia, pelo conhecimento que temos do passado geológico e do registo magnético que ficou impresso nas rochas, sabemos que, em certos momentos, se dá a inversão da polaridade do campo magnético. Esse conhecimento é possível, pois as rochas podem dar-nos indicações acerca do comportamento do campo magnético, no momento em que se formam.

Nas rochas ígneas ou vulcânicas, a orientação fica plasmada nos cristais em vias de formação, ao longo do processo de arrefecimento, ao passo que nas rochas sedimentares, o campo de forças existente ao tempo da sedimentação, pode levar a uma orientação das partículas que são mais magnetizáveis, registando assim, estatisticamente, o campo de forças.

Um evento de inversão do campo magnético significa que o pólo sul passa a ser o pólo norte e vice-versa. Este facto, cujas causas são ainda enigmáticas, aconteceu pela última vez há cerca de 780 mil anos. Todavia, sabemos hoje que, até onde o registo pode ser interpretado, foram numerosas as ocorrências de eventos de inversão da polaridade magnética, embora a sua distribuição ao longo do tempo, não seja regular, nem obedeça a padrões de ciclicidade, traduzindo um comportamento a que alguns chamam “quase periódico”.

Verifica-se contudo que, os eventos de inversão magnética ocorrem tipicamente a diversas escalas de duração. As inversões maiores e mais prolongadas apresentam um padrão de duração e ocorrência compreendido entre 10 e 100 milhões de anos, com intervalos de polaridade alternada a que chamamos épocas. De acordo com um volume significativo de dados já recolhidos, estas inversões estarão (?) na origem de impulsos das convexões mantélicas, geradoras da fragmentação dos supercontinentes como a Pangea. As inversões de menor escala têm ocorrências compreendidas entre 100000 anos e um milhão de anos e recebem normalmente a designação de episódios (Einsle *et al.*, 1991).

Sabemos ainda muito pouco sobre o modo como se dão estes eventos de inversão da polaridade magnética mas, aproximações feitas com modelos processados por computadores, apontam para que o processo decorra durante intervalos de vários milhares de anos. Se assim for, esses factos serão instantâneos à escala geológica, mas relativamente longos para nós, humanos.

Provocando certamente perturbações na actividade dos seres vivos, incluindo os humanos, estas inversões não têm todavia sido consideradas potencialmente perigosas,

se tivermos em conta os registos de acontecimentos idênticos no passado. São de prever, ainda assim, perturbações no comportamento da atmosfera, na segurança de veículos orbitais e interplanetários e modificações em muitos aspectos do comportamento de animais em vida selvagem, particularmente das espécies migratórias.

A próxima inversão está aí, apontam já alguns (Broad, 2004). De facto, nos últimos 150 anos a intensidade do campo magnético diminuiu de 10 a 15 %, o que deixa supor a criação progressiva de condições para que tal inversão possa estar em marcha.

O problema é que, à luz do conhecimento actual, pouco se sabe acerca dos efeitos que uma eventual inversão do campo magnético terrestre teria no nosso mundo. Podemos, no entanto, fazer uma ideia; toda a instrumentação baseada nas propriedades magnéticas ficaria inoperante; o enfraquecimento do escudo magnético, durante a fase de transição que antecede a inversão, aumentaria os efeitos letais dos ventos solares e das radiações entradas na atmosfera. Teríamos mais tempestades magnéticas e, provavelmente, as auroras boreais seriam um fenómeno comum.

As inversões do campo magnético terrestre têm, no lado oposto da medalha, uma importância enorme como instrumento essencial do conhecimento da Terra e da sua longa história. De facto, as anomalias magnéticas registadas nas rochas dos fundos oceânicos forneceram um conjunto decisivo de argumentos para a fundamentação da teoria da Tectónica de Placas.

Com efeito, logo abaixo dos sedimentos que cobrem grande parte dos fundos oceânicos actuais ocorre uma espessa camada de basaltos, solidificados debaixo de água. Estes basaltos foram estudados ao longo de muitos perfis efectuados em navios de inúmeras campanhas oceanográficas e em várias latitudes do oceano Atlântico.

Harry Hess (1906-1969) foi oficial da marinha americana durante a Segunda Guerra Mundial e viria a ter uma importância crucial na compreensão dos processos conducentes ao nascimento e morte dos oceanos. Realizou inúmeros perfis submarinos com sonar no oceano Pacífico, enquanto se deslocava entre uma batalha e outra. Mais tarde (1962), como professor de Geologia em Princeton (EUA), publicou um célebre artigo, onde propôs a hipótese do que viria a ser conhecido como “seafloor spreading” ou “expansão do fundo oceânico”.

O magma, ascendendo à superfície através das grandes cristas oceânicas, empurraria os flancos para um e outro lado, criando assim tapetes de basaltos, cuja idade aumentava numa forma quase simétrica, com o afastamento dessas cristas (USGS, 1999). Esta hipótese viria a ser aceite, tendo sido confirmada quando, ao referido padrão de idade dos basaltos, foi sobreposta, com grande detalhe, a simetria das faixas de polaridade alternante. Demonstrava-se deste modo a relação entre o tempo geológico, a expansão dos fundos oceânicos a partir das cristas médias e a polaridade magnética alternante, das rochas constituintes, dos fundos em afastamento.

Estava, assim, concebido o processo, há tanto tempo procurado, capaz de explicar as enormes transformações que os oceanos e os continentes sofreram no decurso do tempo geológico.

O grande visionário Alfred Wegener (1880-1930) podia agora e finalmente ter razão, depois de ter dito que a África e América do Sul encaixavam quase perfeitamente, se reduzíssemos ao mínimo a largura do Atlântico. De acordo com medições efectuadas em vários locais, tendo em conta a taxa de envelhecimento dos fundos à medida que

nos afastamos das cristas centrais, o Atlântico cresce a velocidades da ordem de 2 cm/ano, ao passo que, no Pacífico, já estão registadas taxas de 7 a 10 cm/ano. Para termos uma ideia do que representam estas velocidades, basta notarmos que são comparáveis à velocidade a que crescem as nossas unhas.

Claro que, se os fundos oceânicos se expandem e a Terra conserva o seu volume, isso significa forçosamente que, em algum momento ou lugar, os fundos oceânicos são destruídos, a uma taxa que globalmente compensará a sua formação noutros locais. Isto acontece nas chamadas zonas de subducção, que consistem em grandes fissuras alongadas ao longo de centenas ou milhares de quilómetros, no interior das quais a crosta oceânica mergulha como uma cortina, até se fundir em profundidade, retomando o seu estado de fusão. A expressão destas fissuras no fundo dos oceanos são as grandes fossas onde se atingem as maiores profundidades de água conhecidas hoje (cerca de 11000 metros na fossa das Curilhas).

Esta forma revolucionária de pensar o planeta, com uma perspectiva muito dinâmica, tem sido adoptada na reconstrução das geografias antigas dos oceanos e continentes, permitindo reconhecer os grandes ciclos globais da acreção, fragmentação e separação dos supercontinentes e a expansão e contracção dos grandes oceanos. Permite-nos por outro lado, esboçar com cada vez maior pormenor, aquela que será a geografia global do futuro, predizendo a marcha dos actuais continentes e a evolução dos nossos oceanos, nas próximas dezenas de milhões de anos. Para um planeta com um tão longo passado, há seguramente um futuro.

Mudanças do nível do mar

Os oceanos, que sempre ocuparam uma posição essencial na superfície do nosso planeta, acumulam imensas massas de água. Cálculos apontam para um volume total pouco inferior a 1400 milhões de quilómetros cúbicos. A sua distribuição à superfície, em conjunto com as áreas continentais, foi muito variada ao longo do tempo geológico. Nos últimos dois mil milhões de anos, por três vezes, as massas continentais estiveram em boa parte agregadas em grandes supercontinentes. Entre 1,9 e 1,5 mil milhões de anos atrás, existiu o Columbia. A Rodínia, o supercontinente seguinte, agregou-se há cerca de 1,1 mil milhões de anos. A partir da sua fragmentação, vieram a divergir a Laurásia a norte e a Gondwana a sul. Durante a Era Paleozóica, uma nova reunificação das massas continentais deu origem ao supercontinente Pangea, cuja fragmentação, a partir do Pérmico, é responsável pelos grandes traços dos actuais oceanos.

As causas destes movimentos sucessivos de acreção e fragmentação das grandes massas continentais, e portanto da crosta continental, devem ser procuradas nas grandes ciclos de convecção profunda dos materiais do manto, aos quais estarão também ligados muitos outros fenómenos globais, ainda que indirectamente. É o caso de um dos tipos de causas da variação do nível do mar.

Quando se fala em variações do nível do mar é necessário definir uma referência em relação à qual, as variações podem ser medidas. Com efeito, não obstante a velocidade a que as variações de nível se verificam serem excessivamente lentas, para que

possamos ter a percepção directa desse facto, existem evidências de variações do nível do mar à escala global, à escala regional e à escala local.

As causas destas distintas variações continuam na agenda das discussões e interpretações, por parte da comunidade científica, mas podemos identificar três principais:

- 1 - O rearranjo global das massas oceânicas e continentais, com uma dependência significativa das taxas de expansão dos fundos oceânicos e da deriva continental. Este aspecto parece responsável por variações muito lentas (inferiores a alguns milímetros por mil anos), de escala global, afectando todos os oceanos do planeta, com uma grande amplitude de variação, que pode ultrapassar os 200¹⁶ metros de subida ou descida e com uma ocorrência muito rara e de longa duração (1 vez em cada 250 milhões de anos). Este tipo de variação ultrapassa em muito, a amplitude registável e susceptível de ser percebida pela nossa civilização, mas deixou marcas de grande significado no registo geológico do passado. O último grande máximo eustático de grande amplitude, a esta escala, ocorreu há cerca de 95 milhões de anos (durante o Cenomaniano, Cretácico superior).
- 2 - Uma segunda grande causa para as variações do nível do mar consiste na ocorrência de épocas de glaciação, durante as quais se acumulam grandes massas de água nas calotes polares e nos extensos mantos de gelo e glaciares, nas regiões de elevadas latitudes e altitudes. Estas extensas acumulações de água gelada são susceptíveis de originarem variações globais, cuja amplitude pode atingir os 180 metros, com velocidades relativamente elevadas, da ordem de 2 a 3 cm/ano. A distribuição destes eventos ao longo do tempo foi muito irregular e com escalas de duração bastante variáveis. Todavia, durante o Pleistocénico (de há 3 milhões de anos até hoje), ao contrário do que acontecia antes, verificou-se a ocorrência duma série de episódios glaciais, separados pelos chamados interglaciais, durante os quais, o nível global dos oceanos sofreu descidas de grande expressão. É admitido que, no final do último máximo glacial (há cerca de 20000 anos), o nível do mar estava cerca de 120 metros abaixo do actual.
- 3 - Um terceiro conjunto variado de causas é responsável por variações do nível do mar à escala regional e local. Este conjunto inclui aspectos tão variados como a subsidência, o abatimento associado ao funcionamento de falhas e o efeito de ocupação de espaço resultante da acumulação de grandes volumes de sedimentos em sistemas deltaicos (por exemplo). As variações resultantes destes tipos de causas são relativamente rápidas (vários centímetros ou mesmo decímetros por mil anos) e podem envolver amplitudes de várias dezenas de metros. A subsidência corresponde ao abatimento duma determinada área, por compactação dos sedimentos que se vão acumulando, perdendo assim uma parte significativa do seu volume por expulsão dos fluidos existentes ou por contracção por arrefecimento do substrato crustal. Neste caso, é lenta e gradual.

¹⁶ Estes valores têm sido postos em causa por excessivos.

Pode ainda resultar do afundimento tectónico do substrato, sendo, neste caso, mais rápida e feita normalmente por impulsos.

A actividade humana pode acentuar a velocidade da subsidência (que, em todo caso, é, à nossa escala, muito lenta e imperceptível), através da extracção de água subterrânea, petróleo, etc.).

As rochas detríticas são constituídas por partículas que se arranjam no espaço, deixando entre elas espaços vazios (poros) que constituem a porosidade. Estes espaços podem ser ocupados por fluidos (água, gás, petróleo, etc.). Sempre que se procede à extracção destes fluidos, os espaços que estavam ocupados passam a ficar vazios, favorecendo a compactação e, portanto, o abatimento do substrato. Assim, em certas áreas costeiras de grande pressão da população sobre a extracção de água, a subida relativa do nível do mar pode, por ser acelerada, observar-se em questão de anos, como tem sido o caso da região onde se situa a cidade de Veneza na Itália. Verificou-se que entre 1930 e 1970, período durante o qual a extracção de água foi mais descontrolada, a subida do nível do mar foi da ordem de 3,85 mm/ano. Contas feitas, neste intervalo de tempo o total de subida do nível do mar terá sido da ordem de 15,4 cm (!), o que para uma cidade àquela cota, é de efeitos bem visíveis.

Tomando as variações do nível do mar como um todo, pode concluir-se que, em cada momento, a situação é a resultante do comportamento dum conjunto de causas, que não estão forçosamente em fase, isto é, que não actuam no mesmo sentido, reforçando-se. Localmente, a tendência pode ser de um sentido mas, regionalmente ou globalmente, a tendência pode ser inversa, pelo que, em cada momento, a resultante apresenta um comportamento bastante complexo. Podemos imaginar uma tendência de subida de largo prazo, combinada por descidas de médio e curto prazo, sendo perigosa a tentação de generalizar e simplificar algumas conclusões, cuja validade pode bem ser limitada. Por outro lado, os dados instrumentais de que dispomos, que na melhor das hipóteses têm cerca de um século e meio, não devem ser sobrevalorizados neste quadro, por muito elevado que seja o seu rigor e precisão.

A pergunta surge sempre: como podemos conhecer variações do nível do mar em épocas remotas e, sobretudo, em oceanos e mares, muitas vezes desaparecidos para sempre e cujos horizontes brumosos nunca tivemos oportunidade de observar...? Claro que a geologia, desde há muito, se interessa por este tema. O assunto é complexo e essencial.

O estudo detalhado da natureza dos sedimentos, das estruturas físicas que eles exibem, das superfícies que os separam e, não menos importante, dos traços de vida que encerram (fósseis, pistas, etc.), é o caminho que nos pode conduzir ao entendimento das relações entre os distintos ambientes em que eles se formaram, e depois às geografias antigas que assistiram à sua formação. Se, por exemplo, uma rocha com características que permitem interpretá-la como tendo sido formada num ambiente de praia, aparecer sobreposta em afloramento por rochas de ambiente marinho de plataforma profunda, isso deverá significar que se verificou um aumento da profundidade nesse local. Situações deste tipo são observadas e descritas em muitos locais, pelo que, deste modo, podemos estimar, não só as variações de profundidade, como também os contornos paleogeográficos definidores dessas variações.

Claro que a realidade é, por vezes, surpreendente, pois pode acontecer que, por exemplo, uma rocha de ambiente marinho profundo, assente directamente sobre uma rocha de ambiente fluvial. Se essa transição não deixar testemunhos, devemos ter de conceber ou uma situação de mega catástrofe, ou então um longo intervalo de erosão e de levantamento do fundo marinho, o que significa muito tempo à escala geológica. A existirem, esses longos intervalos de erosão deixam normalmente cicatrizes, cuja leitura nos pode fornecer indicações importantes desses tempos que deixaram o que se pode designar como um registo negativo. Estes aspectos serão abordados mais à frente.

A observação das rochas para entendermos aspectos como as variações do nível do mar é um trabalho meticuloso, complexo e intrigante. Tentar decifrar, nessas rochas, os restos dum marulhar ancestral e, talvez, dos sopros dos ventos a tecer a espuma das ondas é, por vezes, irresistível.

Mudanças nas formas de vida

Quando se fala das evidências de vida antiga no registo geológico, referimo-nos aos fósseis. Não temos nem teremos nunca acesso à observação directa dos eventos biológicos que definiram a história da vida no nosso planeta. Temos, contudo, provas feitas rocha de que existiram seres muito diferentes no passado, a maioria dos quais desapareceu para sempre. Sabemos, e é hoje consensual, que as modificações das condições naturais, à escala global ou regional, condicionaram a evolução biológica e, portanto, a biodiversidade. Todavia, o inverso é ainda polémico e menos compreendido. Até que ponto e em que medida, a evolução biológica, expressa pela biodiversidade, controlou as grandes variáveis, ou algumas delas, definidoras dos mecanismos globais?

James Lovelock and Lynn Margulis (1976) avançam uma posição: «A hipótese Gaia estabelece que a atmosfera inferior da Terra é um todo, regulado, e uma parte indispensável à própria vida. Durante centenas de milhões de anos, a vida controlou a temperatura, a composição química, a possibilidade de oxidação e a acidez da atmosfera terrestre».

Esta é uma questão ainda em desenvolvimento. Admite-se que, por exemplo, grande percentagem do oxigénio livre existente na atmosfera resulte da fotossíntese e, portanto, da actividade orgânica. É também óbvio que a expansão da biodiversidade aumentou, na mesma medida, a taxa de captura de carbono (C) pelos seres vivos, removendo, portanto, CO² da atmosfera e influenciando, assim, o “efeito de estufa”.

Estes dois tipos de regulação que Gaia propõe, entre outros, recolocam a auto-regulação do funcionamento do grande sistema Terra entre variáveis astronómicas, físicas químicas e biológicas. Daí a grande importância que adquire a evolução biológica na compreensão global da história da Terra, bem como das suas mudanças globais.

A origem da vida faz ainda parte dos grandes enigmas que envolvem a história do nosso planeta. Pode ter sido terrestre ou mesmo proveniente do cosmos. Claro que dispomos de hipóteses mais ou menos avançadas e plausíveis, mas a ausência de registo fóssil das formas mais primitivas de vida impede a sua validação.

Os primeiros sinais de fotossíntese parecem datar de há 3000 milhões de anos, após a “invenção” de células primitivas algais, marcando assim o início da libertação de oxigénio para a atmosfera. Dominam os protozoários.

Só muito mais tarde, durante o intervalo compreendido entre 650 e 620 milhões de anos, aparecem os primeiros fósseis inequívocos de metazoários. De baixa diversidade e distribuição globalizada e cosmopolita, com poucas características de influência local ou regional, os metazoários parece terem preferido os ambientes marinhos pouco profundos. A biomineralização começa na altura, criando recursos orgânicos em partículas carbonatadas, siliciosas e fosfatadas e modificando a química da água. Este facto, por lento e gradual que tenha ocorrido, tem consequências evidentes nos mecanismos de mudança global do planeta. A precipitação do carbonato de cálcio das carapaças e exoesqueletos faz-se à custa da remoção de CO_2 da água e, portanto, da atmosfera, mudando assim o quimismo dos oceanos ou parte deles.

Neste quadro, a fauna de Ediacara (630-540 MA) representa o primeiro registo conhecido de formas multicelulares complexas. Sucede-lhe a chamada “explosão Câmbrica”¹⁷, com o aparecimento de muitos grupos de organismos bem diferenciados e já com partes anatómicas duras. Esta circunstância permitiu aumentar muito o conhecimento paleontológico das formas câmbrias, pois o processo de fossilização tornou-se mais eficaz, exprimindo uma diversidade biológica “explosiva”. No entanto, e em sentido oposto, tal circunstância introduziu um profundo viés na informação disponível, que passou a ser muito mais abundante, não apenas por causas biológicas, mas por razões relacionadas com os processos físico-químicos da fossilização.

A fauna de Ediacara, com predomínio de criaturas invertebradas, algumas com características medusóides, representa contextos antagónicos para a maioria dos especialistas. Para uns, é o fim dum ciclo de diferenciação primitivo, cuja tipologia não sobreviveu ao que terá sido a primeira extinção em massa conhecida; para outros, ela evolui de maneira mal conhecida, dando origem à já referida “explosão câmbica”, onde se inicia toda a biodiversidade actual.

Um outro acontecimento importante no âmbito da evolução biológica corresponde à colonização das áreas continentais pelas plantas, que terá ocorrido a partir do Silúrico¹⁸. A degradação da cobertura vegetal nos solos acentuou a formação de ácidos orgânicos que, associados ao crescente papel do oxigénio na atmosfera, permitiu mudanças na composição iónica dos efluentes continentais e, em seguida, das águas oceânicas. Por outro lado, a acumulação de grandes massas florestais em regiões continentais passou a constituir um factor importante no aumento do tempo de residência do carbono orgânico, com óbvia influência no papel do CO_2 , enquanto gás com efeito de estufa.

¹⁷ O período Câmbrico começou há 542 milhões de anos, de acordo com a mais recente versão (2008) da Tabela Estratigráfica Internacional, publicada pela IUGS (União Internacional das Ciências Geológicas).

¹⁸ O período Silúrico começou há 443,7 milhões de anos, de acordo com a mais recente versão (2008) da Tabela Estratigráfica Internacional, publicada pela IUGS (União Internacional das Ciências Geológicas).

A par disso, o aumento da humidade no solo e na atmosfera, em resultado da cobertura vegetal, não podem deixar de ser considerados, até pelo acentuado efeito de estufa gerado pelo vapor de água.

Sucedem-se a longa evolução biológica até ao que conhecemos hoje. Pelo caminho, ocorreram alguns eventos maiores de extinção em massa, hoje reconhecidos:

- **Ordovícico superior** (446 – 443,7 milhões de anos). Desaparecem 22% de todas as famílias de organismos.
- **Devónico superior** (385,3 – 359,2 milhões de anos).
- **Pérmico superior** (254 – 251 milhões de anos). Desaparecem 54 % de todas as famílias de organismos marinhos.
- **Triássico superior** (228,7 – 203,6 milhões de anos). Desaparecem 35% de todas as famílias de animais.
- **Limite Cretácico-Paleogénico (KT)** (65,5 milhões de anos). Atribuída a um impacto cósmico na península do Iucatão (México). Conhecido por assinalar a extinção dos dinossaúrios.

As causas destes eventos de extinção em massa têm sido intensamente discutidas. Modificações dos ecossistemas associadas a intensa actividade vulcânica ou a mudanças do nível dos oceanos em resultado de alterações climáticas e ocorrência de impactos de corpos provenientes do espaço são as causas que reúnem mais consenso. Claro que as causas são distintas em cada caso e os viés que ocorrem no registo fóssil, decorrentes dos processos de fossilização, originam resultados complexos e muito incertos. Por outro lado, as visões catastróficas dos acontecimentos naturais recolocam-nos muito mais próximos da escala humana do tempo, simplificando, por isso, a nossa percepção.

Permanecem, no entanto, insuficientemente conhecidos os efeitos que estas extinções geraram nas condições globais que lhes sucederam. Todavia, o homem é talvez - o futuro dirá melhor - um dos maiores indutores de mudanças globais, clima, dispersão química e biodiversidade.

Capítulo 4

O CÓDIGO DO TEMPO

O que ler nas superfícies entre as rochas

As rochas que, ao longo do tempo, se vão acumulando nos ambientes de sedimentação ordenam-se, sobrepondo-se sucessivamente, das mais antigas para as mais recentes. É possível encontrar, em afloramento ou nos testemunhos recolhidos em sondagens, espessos empilhamentos (podem atingir vários milhares de metros) de sedimentos que, normalmente, mostram ao longo da espessura, grandes variações de ambientes de sedimentação onde esses materiais se acumularam.

A mudança dos tipos de rochas, ao longo dessas sucessões, significa mudança das condições ambientais na acumulação. Daí resulta que, num mesmo local e à medida que o tempo foi passando, condições muito diferentes ficaram sucessivamente registadas nas rochas que se foram formando. Independentemente das causas que originaram mudanças de condições, por vezes tão radicais, interessa agora ver como ficaram registadas nas rochas essas transições entre as distintas condições de sedimentação.

As mudanças podem fazer-se dum modo progressivo, representando uma transição gradual mais ou menos lenta entre dois ambientes distintos ou, pelo contrário, exprimir-se numa forma brusca, sem qualquer tipo de continuidade.

No primeiro caso, se a transição for regular e gradual, as características do ambiente inicial vão, numa forma mais ou menos contínua, dando lugar às características do ambiente terminal. No entanto, esta mudança pode fazer-se dum modo quase imperceptível e bem organizado, ou por pequenos saltos oscilantes entre as características dos dois ambientes extremos, como se as condições de ambos alternassem em episódios. Opostamente, se a mudança for brusca, podem mudar radicalmente os aspectos físicos e químicos das rochas que se formam após a mudança.

Quando nas rochas observamos superfícies mais ou menos aplanadas e paralelas, separando aquilo a que vulgarmente se chamam os estratos, observamos, sem dúvida, uma interrupção das propriedades das rochas, separando o que está em cima do que se situa por baixo. Essas superfícies repetem-se, por vezes, numa forma muito expressiva, e fica claro que algum processo ou conjunto de processos gerou essa interrupção

na continuidade das rochas. O que já não é tão claro é se esses processos ocorreram durante a sedimentação das rochas ou muito mais tarde. No primeiro caso, eles estarão obviamente relacionados com as condições ambientais prevalecentes ao tempo da formação dessas rochas. Se, pelo contrário, esses processos tiverem sido muito mais tardios, então estarão associados a acontecimentos que afectaram as rochas já consolidadas ou em vias de consolidação.

Para compreendermos o que se passou ao tempo da formação das rochas temos, portanto, de compreender as superfícies contemporâneas da acumulação. As superfícies deste grupo representam sempre mudança nos processos existentes, sejam químicos ou físicos. Podem representar apenas uma paragem no processo de acumulação ou uma paragem, durante a qual, parte do que estava acumulado foi arrancado e erodido. Seja qual for o caso, certo é que essas superfícies condensam muito tempo, a que não correspondem, pelo menos naquele local, quaisquer testemunhos materiais rochosos, e que está, de certo modo, a barrar essas superfícies como manteiga. Este véu do tempo, que aqui regista a ausência de testemunhos do que se passou, pode ser, noutros locais, um obeso empilhamento de rochas que resultaram de episódios contemporâneos, mas não forçosamente idênticos.



Foto 8 – Superfície de profunda erosão produzida por areias de canhão submarino sobre margas profundas com estratificação bem marcada. Jurássico superior do afloramento de Santa Cruz; Torres Vedras.

Uma superfície que mostre traços de irregularidade com ondulações, saliências ou reentrâncias indicia normalmente erosão. Neste caso, um conjunto de sedimentos que eventualmente se tenha depositado foi, de novo, posto em movimento, ficando como cicatriz a superfície erosiva. Sobre a superfície, os sedimentos podem retomar as características que tinham anteriormente, o que significa que as condições ambientais não sofreram alterações importantes quando a sedimentação recomeçou.

Se compararmos um conjunto de rochas estratificadas a um livro, só nos apercebemos da existência de páginas arrancadas, quando lemos o livro e verificamos que, para que o livro faça sentido, faltam frases. Do mesmo modo, a erosão de camadas pode complicar a interpretação dos acontecimentos, sendo normalmente necessário conceber acontecimentos para explicar essas ausências.

Os sinais de erosão entre camadas podem ocorrer com aspectos e formas muito variados. Uma vez, quase imperceptíveis e de reconhecimento difícil, outras vezes, com evidências de mega-escavações, com dezenas de metros de profundidade (Foto 8); por vezes, com formas que se podem atribuir a corrosão química, outras vezes, com marcas da actividade de seres vivos.

A grande diversidade das marcas de erosão resulta da enorme variedade dos processos a que estão associadas. Todavia, nem sempre os resultados mais exuberantes são o produto de transformações maiores. Nestas superfícies, a leitura cuidada pode revelar sinais de acontecimentos tão variados como mudanças climáticas, tempestades, actividade vulcânica, impactos de corpos cósmicos, inversões do campo magnético, extinções biológicas em massa, etc. Estes sinais existem não apenas na morfologia das superfícies, mas também nas mudanças ou conteúdos químicos associados, bem como no registo fossilífero ou sua modificação. Na interpretação das superfícies entre as camadas, não existem dados ou observações supérfluas. Todos têm significado, embora nem todos sejam legíveis, pelo menos por agora.

Clima

Os climas definem-se essencialmente pelo regime de precipitação e pela distribuição das temperaturas ao longo do tempo. As mudanças destas variáveis deixam normalmente marcas nas rochas, gerando superfícies, sobretudo em ambientes continentais. Nos continentes, a expressão da interacção entre as rochas à superfície e o clima são os solos. Por isso, eles são variados e as suas diferenças resultam, não só dos diferentes tipos de rochas sobre as quais se desenvolvem, mas também, e sobretudo, dos distintos climas que existem nos locais onde se formam. Os solos são, por isso, um excelente testemunho dos climas do passado. O problema é que, os chamados paleossolos, nem sempre ficam conservados nas séries de rochas onde se formaram. Noutros casos, a sua preservação é apenas parcial, o que não melhora muito o resultado, reduzindo as expectativas. Sabe-se que há solos que demoram algumas centenas de anos a formar, ao passo que outros, mais maturados e espessos, podem exigir centenas de milhares de anos. Fica, assim, claro que, a presença dum solo antigo intercalado num empilhamento de sedimentos representa, pelo menos, um intervalo de tempo significativo mas, nos casos mais longos, eles podem registar verdadeiras e profundas mudanças da realidade regional. Sabemos também que os solos mais longos e evoluídos se formam normalmente em condições de descida do nível do mar, o que, com frequência, está associado a mudanças climáticas de grande escala. Comparativamente, os intervalos de descida do nível do mar apresentam-se em episódios de duração superior aos equi-

valentes na subida do nível do mar, o que permite compreender a razão da afirmação anterior. É também verdade que estes modelos têm uma incerteza que é superior à incerteza que afecta a reconstrução paleoclimática, pois podemos estar a comparar séries de acontecimentos cuja relação temporal só vagamente se relaciona com o complexo processo de evolução dum solo.

As rochas acumuladas em condições marinhas exibem também aspectos que são relacionados com modificações das condições climáticas. O tipo e a quantidade de sedimentos que chegam ao mar, o seu conteúdo em matéria vegetal e em pólenes e esporos, as argilas que os integram, bem como outros elementos constituintes, podem permitir a reconstrução das condições paleoclimáticas prevalentes.

As mudanças dos paleoclimas podem ser de muito rápidas a muito longas, pelo que, em cada caso, as marcas são distintas. As mudanças longas reúnem normalmente uma sobreposição de transformações químicas e físicas que, ao longo do tempo, vão configurando as superfícies e as rochas preexistentes, sobre as quais essas superfícies se vão definindo.

Uma longa mudança climática pode, muitas vezes, exprimir-se por uma interrupção na sedimentação e por repetidos processos de precipitação ou dissolução químicas, como a corrosão de minerais ou a cimentação (transformação duma rocha solta em rocha compacta). As mudanças rápidas podem deixar marcas de escavação ou ravinamento, evidências de alteração nas faunas e nas floras existentes na altura, ou até modificações do nível de base (do mar ou dum lago que sirva de superfície basal). Já vimos quão profunda aparenta ser a relação entre a organização dos climas na Terra e a oscilação global do nível do mar.

Podemos dizer, em síntese, que os paleossolos dão indicações importantes sobre os ciclos climáticos, particularmente os de longa duração. Os ciclos curtos podem sobrepor-se e a sua leitura é complexa, dada a baixa resolução temporal do método.

Tempestades

A ocorrência de tempestades é comum e conhecida, tanto nos continentes como nas áreas oceânicas. São acontecimentos instantâneos à escala geológica, pelo que a sua existência apenas separa períodos mais ou menos longos de normalidade. No entanto, a sua natureza anormal parece reforçar os seus vestígios.

Nos continentes as suas marcas, geralmente associadas a situações efémeras de intensa precipitação e ventos invulgarmente fortes, correspondem normalmente a superfícies ravinadas sobre as quais se acumulam torrentes caóticas de detritos. Estes vestígios são muito frequentes e, por vezes, correspondem a espessos empilhamentos de sedimentos. Provavelmente, a maior parte das acumulações, nestes casos, resulta duma sucessão de acontecimentos de níveis de energia invulgares, separados por longos períodos de aparente inactividade, a que correspondem superfícies de omissão de registo rochoso, senão mesmo de erosão. Raros, mas conhecidos, são os vestígios de descargas eléctricas atmosféricas que ocorreram no passado, e que são conhecidos por fulguritos.

A natureza pulsante dos testemunhos deste tipo remete-nos para a discussão acerca do papel dos eventos espasmódicos na natureza e do potencial do seu registo.

Com efeito, estes acontecimentos são vulgares em certas faixas climáticas (semi-áridas), embora o tempo que representam seja muito curto. Assim, o testemunho do tempo acentua o papel dos acontecimentos invulgares, diminuindo a importância aparente das situações de maior estabilidade. Subverte aparentemente o rigor das reconstruções de climas antigos, baseadas em critérios enviesados e insuficientemente validados. Claro que as tempestades e as suas manifestações são muito mais variadas, mas podemos considerar que, numa forma geral, a elas estão associados vestígios de erosão activa e acumulação de “torrentes”, mais ou menos viscosas e lamacentas, cujos vestígios podem frequentemente ser reconhecidos em sedimentos antigos. Ao longo da história geológica, é normal supor a existência de tempestades nos continentes, não apenas pelo reconhecimento dos seus vestígios nas rochas do passado em todas as regiões, como também pela suposição de que muitas condições hoje existentes terão estado presentes no passado. No entanto, certas condições não se repetem hoje, pelo que, provavelmente, alguns aspectos do passado terão que ser imaginados a partir de novas referências. Devemos pensar que, nas épocas do passado remoto, em que os continentes não apresentavam ainda cobertura vegetal, a ocorrência e a expressão de manifestações atmosféricas extremas e os seus efeitos na modelagem da topografia deveriam ser, pelo menos, surpreendentes. Um outro aspecto merece alguma reflexão: o conteúdo espasmódico do registo de muitos depósitos continentais evidencia que apenas eventos anormais e ocasionais ficam registados, estando ausentes quaisquer evidências do longo tempo de normalidade. Nada prova, no entanto, que o que fica registado reflecta todos os eventos extremos.



Foto 9 – Aspecto em afloramento de estruturas interpretadas como sendo geradas por condições de tempestade em mar pouco profundo com fundo arenoso. Jurássico superior do afloramento de Santa Cruz; Torres Vedras.

Muitos terão certamente ocorrido sem que as suas marcas tenham ficado, à excepção talvez do acentuar de geometrias erosivas. Sendo assim, provavelmente os testemunhos que ficaram preservados são apenas aqueles que sucederam a uma modificação qualquer do quadro anterior, o que os torna mais invulgares e, por isso, menos representativos do imenso tempo que entretanto decorreu. A ser assim, mais longe fica para nós a possibilidade de alguma vez conhecermos ou reconhecermos largos intervalos do tempo que nos precedeu.

Em rochas formadas em ambientes marinhos, particularmente em condições de plataforma pouco profunda, são conhecidas marcas que têm sido interpretadas como resultando de eventos tempestuosos (Foto 9).

Sabe-se hoje, pela observação directa, que as condições de grande agitação revolvem os fundos até algumas dezenas de metros de profundidade. A movimentação dos sedimentos soltos do fundo marinho gera um tipo de montículos de areia na topografia do fundo que podem, com alguma frequência, ficar preservados nas rochas que se depositaram nesse local. Estas marcas são hoje consideradas como diagnóstico da ocorrência de condições de grande agitação, pelo que são conhecidas como tempestitos. Todavia, a sua ocorrência não explica sob que condições climáticas se verificaram as tempestades, nem que geografias locais ou regionais condicionavam esses eventos. No entanto, é possível, em muitos casos, conhecer, através de evidências indirectas, algumas variáveis associadas às condições climáticas da altura. É o caso da orientação das ondas em ambientes marinhos ou lacustres, o regime de ventos e a energia envolvida. Os organismos ou os seus restos e marcas dão, muitas vezes, indicações bastante precisas acerca das condições em que os regimes tempestuosos ocorreram.

Testemunhos associados a eventos de tempestades são conhecidos em sedimentos desde os tempos pré-câmbricos e provam a ocorrência de fenómenos idênticos aos de hoje, em tempos extremamente remotos.

Actividade vulcânica

Tal como hoje, o passado geológico foi rico em eventos de natureza vulcânica, quer nas áreas emersas, quer nos oceanos. É mesmo possível reconhecer um aumento de actividade quando recuamos no tempo.

Desde erupções mais ou menos isoladas até longos períodos de intensa e extensa actividade ígnea, estes acontecimentos deixaram marcas, por vezes bem evidentes. Os vestígios destes acontecimentos integram sobretudo extensas e espessas escoadas de lavas e acumulações de cinzas e piroclastos. Podem ainda ocorrer grandes massas eruptivas, onde a típica ocorrência das lavas em “almofada”¹ testemunha a natureza submarina das erupções. Importa não esquecer que os fundos oceânicos são construídos, em grande parte, através de processos eruptivos submarinos, donde a sua importância à escala planetária.

¹ “Lavas em almofada” ou “pillow-lavas” apresentam morfologias em massas arredondadas que são consideradas diagnóstico de arrefecimento sub-aquático (normalmente marinho).

As grandes erupções que têm sido registadas historicamente (caso do vulcão Cratão, por exemplo), e outras que foram reconhecidas no registo geológico, emitem enormes quantidades de cinzas quentes, misturadas com gases que ascendem em espessas nuvens na alta atmosfera. Estes materiais caem depois lentamente, acumulando pequenas camadas centimétricas de cinzas, em extensões de centenas ou milhares de quilómetros à volta do vulcão. No entanto, a sua distribuição geográfica em torno do ponto emissor é muito influenciada pelo regime de ventos predominantes na altura, pois os materiais finos em suspensão, que são emitidos para a atmosfera até altitudes de 50 km, são varridos pelas correntes de circulação atmosférica. Nesta medida, a dispersão das cinzas em redor do ponto emissor constitui um bom indicador das orientações dos paleoventos, representando, assim, um elemento muito valioso para os estudos paleoclimatológicos.

Em alguns casos, estão estimadas distâncias superiores a 5000 km de dispersão de cinzas vulcânicas. Há cerca de 315 milhões de anos, um processo deste tipo dispersou cinzas vulcânicas numa área envolvendo todo o norte da França, metade sul do Reino Unido, grande parte da Mancha e Mar do Norte e região norte da Flandres, Alemanha e sul da Dinamarca.

Os níveis de origem vulcânica que se intercalam nas camadas de sedimentos constituem preciosos medidores temporais. A sua natureza geologicamente instantânea faz deles uma espécie de marcos temporais, à semelhança dos marcos quilométricos nas estradas. As camadas sobre as quais esses níveis assentam são da mesma idade ao longo de grandes extensões, o que naturalmente permite refinar o conhecimento que se pode obter acerca dos ambientes e dos momentos durante os quais eles funcionaram no passado. Conhecem-se ainda os efeitos que estas grandes erupções, e sobretudo os longos períodos de vulcanismo activo, exercem sobre o funcionamento da atmosfera, associados à emissão de imensas quantidades de poeiras vulcânicas.

Talvez um dos mais conhecidos, e que tem sido associado à influência da grande erupção do Tombora na primavera de 1815, na actual Indonésia, é o episódio conhecido como “o ano de 1816, um ano sem Verão”. Em resultado desta erupção, uma grande quantidade de radiação solar não atravessou a atmosfera, tendo, por isso, havido um arrefecimento significativo, particularmente no hemisfério norte. Os acontecimentos climáticos associados a esta erupção, à semelhança do que aconteceu com muitas outras, terão certamente deixado marcas nos sedimentos contemporâneos. Podemos pensar em sinais de erosão anormais, mortandade biológica acentuada, etc. Os eventos vulcânicos de grande magnitude ou de extensa distribuição geográfica têm crescentemente sido associados a mudanças climáticas instantâneas e globais, sendo, por isso apontados como causas complementares de episódios maiores de extinção biológica no passado.

Impactos de corpos cósmicos

O nosso satélite natural, a Lua, mostra, mesmo à vista desarmada, inúmeras crateras de dimensões variadas, que aparentam resultar de impactos de objectos cósmicos contra a superfície desse planeta. A ausência de atmosfera e de água na sua superfície,

e portanto de intensa erosão, fazem com que essas morfologias perdurem virtualmente para sempre, donde a sua relativa abundância.

Na Terra, a realidade é diferente. É consensual o reconhecimento de que o nosso planeta recebeu, ao longo da sua história, o impacto de inúmeros corpos cósmicos. A “Meteor Crater” do Arizona, nos Estados Unidos é a primeira a ser reconhecida como evidência dum acontecimento desses. A literatura científica descreve pouco mais de uma centena e meia de ocorrências geológicas interpretadas como crateras de impacto, distribuídas sobretudo pelas regiões geologicamente mais antigas e consolidadas, e datadas desde os tempos mais remotos até aos mais recentes à escala geológica. Algumas crateras foram mesmo identificadas em regiões oceânicas, através de métodos geofísicos. O diâmetro das crateras reconhecidas atinge um máximo de 300 km (cratera de Vredefort, Africa do Sul).

A existência de água e gases atmosféricos à superfície da Terra fazem com que as crateras de impacto sejam gradualmente destruídas pela erosão, pelo menos em parte. Apenas as mais recentes e localizadas em regiões com condições climáticas de aridez pronunciada tendem a exibir características morfológicas sugestivas. A existência duma cobertura vegetal abundante, em condições de abundante pluviosidade e temperaturas elevadas, tende a acelerar muito a destruição dos vestígios.

Normalmente associados a estes pontos de impacto encontram-se materiais minerais de alta pressão ou de fusão, fragmentos do corpo cósmico, espalhados radialmente à volta do local de queda, bem como estruturas de deformação originadas pela colisão. As estruturas de impacto cósmico têm sido objecto de muita atenção mediática, pois acontecimentos deste tipo, datados do limite Cretácico-Terciário² foram apontados como responsáveis pelo episódio de extinção em massa, datado desta idade (exemplo: extinção dos dinossáurios). Independentemente da relação possível atrás apontada, e que não reúne o consenso da comunidade científica³, parece evidente que grandes eventos de impactos cósmicos podem gerar enormes modificações temporárias do clima, desencadeando episódios de arrefecimento global. A emissão de grandes quantidades de partículas para a atmosfera reduz a quantidade de radiação solar absorvida. Por outro lado, é igualmente expectável que ocorram fortes sismos, bem como tsunamis associados. Estes factos permitem supor que muitos impactos cósmicos deixaram marcas nos sedimentos contemporâneos, podendo, por isso, funcionar como elementos de correlação entre pontos situados em locais distintos. Têm sido descritas concentrações anormalmente elevadas de certos elementos químicos (irídio, por exemplo) em sedimentos contemporâneos de impactos. Parece, assim, possível constituir a utilização destas anomalias químicas como critério para, não só reconhecer eventuais impactos que não deixaram vestígios morfológicos, como para identificar sedimentos eventualmente coevos.

² Há cerca de 65 milhões de anos; cratera de Chicxulub na península de Iucatão, México.

³ É possível identificar, a partir da literatura científica, cerca de oitenta argumentos, invocados para explicar a extinção dos dinossáurios.

Inversões do campo magnético

O estudo do sinal paleomagnético de muitas sucessões de rochas sedimentares tem revelado, com frequência, que a orientação do campo se inverte entre duas camadas contíguas.

Qualquer pessoa pode reconhecer em muitos afloramentos, sobretudo os de maior expressão e qualidade de observação, a proliferação de tubos cilíndricos com alguns centímetros de profundidade e uns dois centímetros de diâmetro. São tubos executados mecanicamente para recolher amostras orientadas que, em análise laboratorial, poderão fornecer dados acerca da polaridade magnética, ao tempo em que se sedimentaram.

A inversão, como vimos, é um fenómeno ainda mal compreendido e cuja ocorrência não obedece a um padrão previsível. No entanto, quando acontece, afecta o planeta como um todo, pelo que é um critério de correlação global.

O registo destes acontecimentos à escala global não deixa, tanto quanto se sabe, quaisquer marcas físicas nos sedimentos que estejam em formação ao tempo. Todavia, é possível reconhecer, através da apropriada utilização de equipamento analítico e dum complexo processo de interpretação e validação da informação dos dados obtidos, a existência de modificações radicais do campo magnético terrestre em épocas remotas.

Foram dados deste tipo que serviram como critério essencial para fundamentar a ideia da deriva dos continentes, da expansão dos fundos oceânicos e da constante dinâmica global da crosta do nosso planeta, através do permanente rearranjo das placas tectónicas ao longo do tempo.

Sinais de vida e morte

A observação de superfícies a separar estratos, particularmente os formados em ambientes marinhos, mostra com frequência a ocorrência de concentrações de marcas e restos fósseis. Nuns casos, a sua origem e afinidade biológica não levanta muitas dificuldades mas, noutros casos, esses restos são realmente enigmáticos.

Normalmente, o que se observa corresponde a restos de organismos ou plantas com partes duras ou resistentes que ficaram preservadas, ou às marcas e traços da sua existência e actividade, com é o caso de moldes das partes esqueléticas ou marcas de locomoção. Há sedimentos em que os restos e traços de organismos são muito abundantes mas, noutros casos, a sua raridade é extrema.

Este facto deve-se, não só à maior ou menor abundância de organismos ao tempo da acumulação dos sedimentos, mas também à taxa de conservação desses restos e traços que o processo de fossilização consentiu. Com efeito, a ausência de restos fósseis em muitas rochas não indica que organismos vivos não tenham existido nos ambientes contemporâneos, mas sim que eles não deixaram restos fossilizados, quer pela sua natureza anatómica, quer devido aos processos a que os seus restos ficaram sujeitos após a morte⁴.

⁴ Estes aspectos constituem o objecto de estudo da Tafonomia.

Nas superfícies de estratificação podemos encontrar, com frequência, marcas tubulares mais ou menos ramificadas (Foto 10), que se orientam paralelamente aos planos, ou outras, que se dispõem perpendicularmente às superfícies dos estratos. Em ambos os casos, estas marcas representam actividade biológica, que indica a natureza não consolidada das rochas nesse tempo. São frequentemente sinais de locomoção, alimentação, repouso, ou outros, que os organismos produziram no decorrer da sua actividade normal. Noutros casos, contudo, essas marcas indicam que os sedimentos já estavam consolidados, impedindo a penetração por organismos, excepto os que são capazes de perfurar rocha dura, como os chamados litófagos (que corroem a rocha fazendo perfurações). Há ainda muitos restos fossilíferos que ocorrem em sedimentos e locais onde nunca viveram. Trata-se de casos em que os restos foram transportados (por flutuação), por vezes ao longo de grandes distâncias, antes de afundarem e serem incorporados nos sedimentos que os contêm. Podemos citar como exemplos muitos fragmentos de vegetais ou conchas de amonóides.

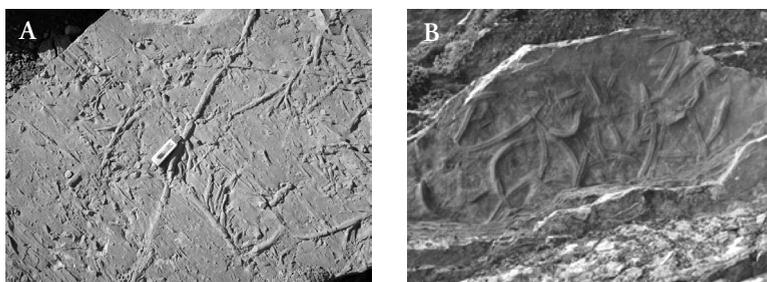


Foto 10 - Exemplos de traços de actividade por organismos que viviam dentro da vasa do fundo marinho (Foto 10A), ou sobre o fundo marinho (Foto 10B).

Dados desta natureza permitem, não só aperfeiçoar reconstituições dos regimes de circulação oceânica, como são também úteis na construção dos modelos de distribuição dos paleoclimas.

O modo como os organismos deixaram as suas marcas ou restos nos sedimentos sugere-nos leituras, e dá-nos a conhecer factos que indicam as condições em que viveram e acontecimentos que, muitas vezes, influenciaram decisivamente a sua existência. Podemos inferir, por exemplo, a velocidade a que os sedimentos se acumulavam em certos momentos pela existência de sinais de fuga ou evacuação de anteriores marcas de habitação para novas, por perigo de enterramento. Noutros casos, episódios de mortalidade elevada de organismos que não se degradaram por putrefacção sugerem também enterramento rápido, permitindo preservar os cadáveres da acção dos predadores e da decomposição. Situações, ainda, em que os restos indicam a conjugação de mortalidade generalizada e uma preservação quase fotográfica podem dever-se a uma mudança súbita da composição química da água ou carência intensa de oxigénio, conjugadas com a escassez de necrófagos e um acontecimento rápido de enterramento por uma avalanche lamacenta, por exemplo.

Os restos vegetais indicam uma enorme quantidade de parâmetros que se utilizam para o conhecimento do tempo em que viveram. Citam-se traços essenciais das condições climáticas, desde que a sua origem não seja longínqua, por flutuação, por exemplo. São também capazes de sugerirem a ocorrência de incêndios, mais ou menos generalizados, em momentos do passado.

Sabe-se que o impacto de meteoritos, através da criação de enormes anomalias electrostáticas em vastas áreas continentais, geradoras de descargas eléctricas na atmosfera, em grandes proporções, é capaz de iniciar incêndios que puderam atingir, no passado, proporções difíceis de imaginar. Há também, no registo fóssil de vegetais, sinais da sua utilização como alimento de animais e da sua utilização por espécies de insectos parasitas.

A análise destes e muitos outros sinais e registos, em muitos locais com rochas datadas ao longo do tempo geológico, permitiu reconhecer diferentes momentos importantes da história da vida na Terra (Fig. 8). Uns, porque nos mostram o aparecimento de novos seres que antes não haviam existido. Outros, porque nos indicam momentos em que uma ou muitas espécies biológicas desapareceram para sempre. Em alguns casos mesmo, em certos intervalos de tempo geologicamente curtos, a quantidade de espécies que desapareceram quase simultaneamente é de tal maneira elevada, que os cientistas reconheceram aquilo a que chamaram as grandes extinções em massa.

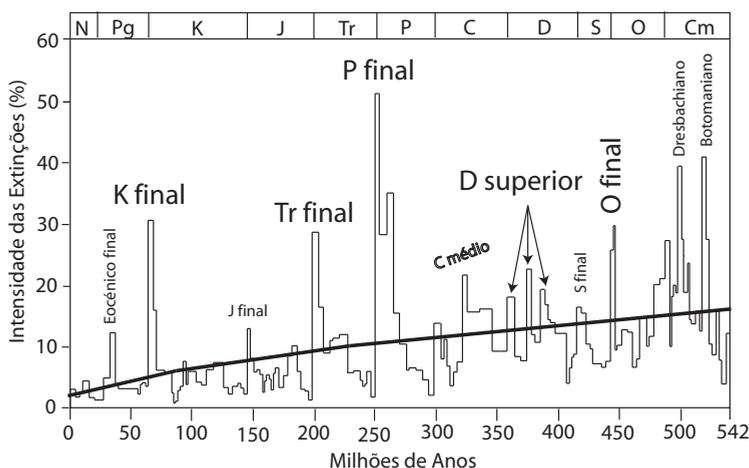


Figura 8 – Calendário do tempo geológico com as principais variações nas extinções biológicas desde o Câmbrico até hoje. (Rohde & Muller 2005). Note-se a importância da maior extinção conhecida (final do Permiano – 250 milhões de anos) e o evento no final do Cretáceo (limite KT).

O episódio mais conhecido de extinção em massa é o que terá ocorrido no final do período Cretáceo (há cerca de 70 milhões de anos). A sua divulgação mediática tem estado associada à ideia, proposta por Alvarez e seus colaboradores, desta extinção ter

ocorrido como resultado dum impacto dum bólido cósmico com a Terra nesta altura. É hoje maioritária a ideia de localizar o impacto no Golfo do México, península do Iucatão, correspondendo à que é conhecida como a cratera de Chichulub. A colisão desse corpo, associada à emissão para a atmosfera de enormes volumes de partículas, terá sido responsável por alguns efeitos globais aos quais tem sido atribuída a extinção em massa nesta época. A obscuridade, um desses efeitos, terá durado largas semanas a meses, reduzindo drasticamente a fotossíntese. Por outro lado, a temperatura baixou significativamente durante um largo período, causando a congelação permanente em vastas áreas. Largas emissões de gases, alguns deles tóxicos ou quimicamente agressivos, completam o quadro que poderá ter ocorrido na passagem do Cretácico ao Paleogénico, conhecido geralmente como a fronteira KT. Alguns modelos propõem, ainda, a ocorrência generalizada de incêndios florestais, como resultado da disseminação de fragmentos cósmicos, gerados durante a entrada na atmosfera.

É necessário ter em conta que estas interpretações são sempre baseadas em modelos que, com base em certas ocorrências, estimam uma cadeia de acontecimentos associados, sem que, todavia, a sua verificação possa ser normalmente realizada. Este facto suscita a proposta de ideias alternativas, muitas vezes contraditórias com algumas já existentes. Podemos tomar como exemplo o que tem sido proposto para este evento maioritariamente aceite como de origem cósmica. De facto, para uns, às emissões de grande quantidade de poeiras para a atmosfera, sucedeu-se um arrefecimento global. Para outros, a intensa libertação de CO² a partir da pulverização de grandes volumes de carbonatos marinhos no Golfo do México, terá contribuído para um aquecimento generalizado, mascarando completamente qualquer eventual arrefecimento associado à escuridão então gerada.

Não obstante a proposta colisão ser apontada como responsável por um importante evento de extinção biológica, os sinais visíveis atribuíveis a este hipotético impacto, para além do reconhecimento submarino dum cratera de impacto correlativa deste momento geológico, quase só se podem reconhecer em marcas químicas. Com efeito, tem sido reconhecida a existência em diferentes pontos do globo, de uma concentração anómala de irídio nos níveis estratigráficos atribuídos a esta idade. Sabe-se que este elemento químico é comparativamente mais abundante em meteoritos⁵, o que tem constituído um argumento, para muitos autores, para aceitarem a sua origem cósmica. No entanto, esta ideia continua, ainda hoje, a não ser aceite por toda a comunidade científica, até porque o irídio ocorre também mais concentrado, em alguns contextos geoquímicos do nosso planeta.

Quaisquer que tenham sido as suas causas, este evento, descrito como de extinção em massa, correspondeu ao desaparecimento de muitas espécies biológicas. Alguns autores estimam em 85%⁶, a proporção total de espécies desaparecidas nesta época, o que qualifica este evento de extinção em massa como o segundo mais importante, após o maior evento conhecido, no final do Pérmico.

⁵ Em quaisquer casos, as concentrações são muito baixas e medem-se em dezenas de partes por mil milhões (ppb).

⁶ Outros, pelo contrário, apontam valores pouco acima dos 50%.

É sempre complicado estabelecer com segurança o que aconteceu nessa época e de que modo os seres vivos se extinguíram. Todavia, sabe-se que, para alguns grupos em especial, o final do Cretácico marca já uma diminuição sensível da biodiversidade. Este facto poderá relacionar-se, talvez, com a acentuada descida do nível global do mar que se foi verificando a partir do Cretácico superior e que, inevitavelmente, se traduziu numa diminuição muito sensível da extensão das plataformas continentais. O resultado terá sido então a redução dum grande número de nichos ecológicos e a contracção da biodiversidade. Esta é, aliás, uma das causas mais apontadas para a ocorrência de diferentes ciclos de oscilação da biodiversidade, reconhecidos ao longo da história geológica do nosso planeta.

Quaisquer que tenham sido as causas, e provavelmente foram várias, é importante ter em conta que a resolução dos nossos métodos analíticos e a das ferramentas interpretativas é muito inferior à que seria necessária para podermos associar um instante da história da Terra a um acontecimento biológico de tanta importância. Por isso, vamos continuar tentados a imaginar certos cenários, mais ou menos espectaculares, sem contudo podermos fugir ao recurso a modelos muito especulativos.

De acordo com os dados disponíveis e largamente apresentados nas últimas décadas, os seres dependentes da fotossíntese sofreram uma redução importante no final do Cretácico. Trata-se, em particular, de múltiplas plantas terrestres, exceptuando os fetos, que parece terem expandido e diversificado a sua existência por esta altura.

Como consequência lógica daquele facto, o grupo dos animais herbívoros, cuja subsistência dependia dessas mesmas plantas, sofreu também uma redução muito significativa. Dentro deste conjunto cabem muitos dinossáurios herbívoros e muitos outros carnívoros que, todavia, dependiam daqueles para se alimentarem. Por outro lado, importantes grupos de invertebrados marinhos desapareceram completamente (amonites, rudistas, etc.), ao passo que muitos vertebrados terrestres parecem ter resistido bem à crise (mamíferos, aves, répteis não dinossáurios).

Quando falamos de sinais de morte é, contudo, forçoso falar no mais severo episódio de extinção em massa que se reconhece na história da Terra. Trata-se da grande crise de biodiversidade que ocorreu há cerca de 250 milhões de anos, no tempo que corresponde à transição entre o período Pérmico e o Triássico.

Várias propostas avançadas na comunidade científica sugerem a combinação de vários factores para um acontecimento cujas causas permanecem enigmáticas. Trata-se, à luz dos dados actuais, do acontecimento mais vigoroso de extinção em massa, que terá sido responsável pelo desaparecimento de cerca de 95% de todas as espécies biológicas então existentes.

É o momento da história da Terra em que, porventura, a continuação da vida terá estado mais ameaçada. Contudo, contrariamente à extinção anteriormente referida da fronteira KT, não se conhece, para este caso, nenhuma evidência material de qualquer eventual efeito global associado a impactos cósmicos. São avançadas várias causas que, combinadas, terão criado um quadro global de difícil sobrevivência para muitas espécies. Por um lado, é desta idade, o maior derrame basáltico que se conhece, associado a intenso vulcanismo. Aflora em milhares de quilómetros quadrados na região siberiana e, de acordo com muitos autores, terá sido responsável por enormes emissões de CO². Globalmente, a temperatura terá subido significativamente, como

resposta ao efeito de estufa resultante. Por outro lado, tem sido avançada também a possibilidade de, em virtude da subida de temperatura, ter ocorrido nos oceanos uma libertação generalizada de hidratos de metano para a atmosfera, de que resultou um acentuado novo aumento da temperatura global. Os hidratos de metano existem estáveis nos fundo oceânicos em estado de gelo e são actualmente as maiores reservas conhecidas de carbono, superando largamente todos os hidrocarbonetos explorados e ainda por explorar.

Estima-se que a combinação do CO² libertado pelo vulcanismo siberiano e o metano oceânico que ascendeu na atmosfera terão provocado um aquecimento global de 10 graus Celsius em média. O resultado foi terrivelmente mortífero para grande parte das espécies. Dados recentes sugerem que, a um primeiro episódio continental de crise na biodiversidade, se sucedeu uma severa fase de extinção de vida marinha. No final, as grandes massas continentais, que ao tempo constituíam o supercontinente da Pangea, conheceram condições muito adversas de altas temperaturas e aridez pronunciada, associadas a uma escassez da biodiversidade.

A vida veio a recuperar lentamente a sua diversidade, mas isso demorou mais algumas dezenas de milhões de anos.

Capítulo 5

O NOSSO TEMPO

A cultura a que pertencemos e na qual fomos criados, estabelece, duma forma implícita umas vezes e explícita, outras vezes, a concepção antropocêntrica da realidade e da história. Tudo se passa como se o que existe na Terra e fora dela, tivesse sido gerado, para servir e acompanhar o homem, desde a sua origem, para seu uso e proveito. O tempo é medido à nossa escala e à das civilizações.

A história é na aceção comum, a história da humanidade desde os nossos seres ancestrais mais primitivos até hoje. Os recursos da Terra, toda a espantosa biodiversidade e todo o espaço têm sido geridos e utilizados, em função dos nossos critérios e interesses. A própria génese tem sido contada de acordo com uma pirâmide de acontecimentos, cujo vértice é o homem, para o qual tudo existe e foi criado. O dilúvio, conceito muito figurado, ocorreu como instrumento divino do saneamento civilizacional da antiguidade mais remota, fazendo assim a ligação entre os acontecimentos naturais e a sua finalidade, ao serviço da divindade.

Na antiguidade, o mundo era esférico (de que herdámos, pelo menos, a esfera celeste, nas suas inúmeras representações). No centro a Terra e o homem, como núcleo da vontade divina na criação do Universo. Em volta, os astros, cujo papel era o de nos influenciarem, talvez mesmo um pouco à revelia da vigilância divina e aproveitando a nossa imperfeição. Imaginámos mesmo arranjos cósmicos com representações e à imagem de entidades familiares na Terra, como animais, etc.

Fomos lançados numa terra parcialmente hostil e desconhecida e, como primeiro acto, cedemos ao seu canto. Por estranhas razões, desenvolvemos a inteligência e começámos a reparar em nós próprios. Notámos a nossa solidão, e vimos na esfera alguma esperança.

A nossa civilização tem vindo progressivamente a criar, para o homem, o papel director e utilizador da Terra.

Inventámos conceitos completamente novos como as cidades, os caminhos, e viajámos. Manipulámos os elementos da paisagem como os rios, os lagos e até as costas dos oceanos. Ampliámos todo esse espaço, utilizando a navegação marítima primeiro, e aérea mais tarde. Tentámos, com sucesso, pousar noutros planetas. Fundámos, assim,

uma realidade cada vez mais nova e cada vez mais nossa, em frequente conflito com o que nos cerca. Sofremos, também por isso, mil catástrofes e tempestades, de que pagámos elevados preços. Por isso, gostámos de pensar que esses terríveis acidentes aconteceram por nós e contra nós apenas, reforçando a nossa auto-estima, e recolocando-nos no centro da realidade, através do combate aos seus efeitos.

Conseguimos, com o nosso esforço, remexer e mobilizar mais volume de terra do que todos os processos naturais reunidos, num mesmo intervalo de tempo. Substituí-mo-nos ao resto da realidade natural, na eterna tarefa de extinguir muitas espécies biológicas, sem contudo termos ainda conseguido gerá-las. Conseguimos, a um ritmo não imaginável, criar condições de sobrevivência em praticamente quaisquer ambientes existentes, regulando muitos dos mecanismos de bem-estar individual.

Criámos, de várias maneiras, barreiras crescentes entre nós e os sistemas naturais de que fazemos parte. Derrotámos os grandes espaços naturais e criámos, em sua substituição, parques de exposições confinados, talvez para memória futura. Olhámos para os eventos naturais com uma crescente visão bélica, alguns resultantes das nossas actividades (inundações, fogos florestais, etc.). Organizámos o seu combate com uma simbologia e um conjunto de rituais herdados das guerras e da cultura militar, demonstrando, também aí, uma atitude de hostilidade. Não entendemos tudo, pensou-se então, mas sempre fomos tentando marcar pontos, estabelecer barreiras e instalar razões, mesmo quando tivemos que ir adiando a nossa compreensão.

Separámo-nos, assim e duma forma crescente, do mundo natural que nos gerou, assumindo-nos como o regulador, e perseguindo sistematicamente na procura de entidades intelectuais, capazes de perceber, ao nosso nível, os acontecimentos. Criámos, então, o conhecimento e a ciência como um mundo capaz de justificar a realidade à nossa medida. Pensámos, então e mais, que somos o centro, pela capacidade de inventarmos interiormente a grande explicação do mundo. Sofremos desilusões e refizemos as contas, sempre na procura dum relato universal, e não apenas nosso, do universo.

Então, subitamente demos conta que o horizonte era infinito e que jamais conseguiríamos colocar a nossa sombra no ecrã das estrelas. Ficámos mais sós, acossados por um mundo hostil, agressivo e, por vezes mortífero à nossa frente e por um horizonte nebuloso, perdido e infinito da nossa capacidade de observação, em volta.

Procurámos o ultra-pequeno, viajando até ao sítio onde a realidade, escapando a cada movimento nosso, se transfigura em sussurros. Sofremos as vertigens do excitante e do inatingível, exasperando, a cada passo, perante a realidade esquiva. Olhámos os confins do mundo conhecido, descobrindo sempre, e de cada vez, uma realidade sem limites de espaço, em que o tempo é elástico, e em que o estado é mutante.

Imitámos, então, esse destino. Criámos, à sua imagem, um mundo irreal, cavernoso, sem espaço, sem corpo e sem fim, onde as paredes externas são o interior das entidades e onde passámos a navegar, como inspiração para o outro, o real e inatingível. Mostrámo-nos todos, em cada gesto, em cada momento e local, recriando um novo centro em que pudéssemos estar menos perdidos e sem a deriva do vento cósmico. Surpreendemo-nos, viajando à velocidade da luz nesse novo mundo, e tornando-o muito irreal, mas ainda assim, inteligível. Dele, e a partir daí, olhámos as estrelas.

Tentámos recriar a realidade, preferindo as representações aos objectos, a condenação à incerteza. Sonhámos o aquecimento global e o aquecimento central das memórias,

vijámos pelo mundo novo na ponta dos nossos sentires e fotografámos o mundo real, sem risco, com neve ou no deserto.

Criámos, por fim e por agora, um novo tempo. Um tempo certo, compreensível, em que o tic-tac possa medir-se cada dia e em qualquer local, sempre igual e amigável. Olhámos melhor o passar do tempo e fizemos de novo as contas. Criámos um número infinito de relógios, mas espantosamente síncronos, que não mudassem teimosamente, consoante a distância a que os observamos. Fomos, por isso, ampliando o nosso tempo, vivendo mais e vendo mais e melhor.

Perdemos a cauda do cometa temporal que nos surpreende. Quase que deixámos a realidade para os poetas, o que, por si, não seria mau, levando-nos, contudo, a viajarmos numa jornada insólita, em choques crescentes, ricocheteando nas paredes da realidade. Espreitámos para o exterior e a nossa imagem do espelho explicou-nos o lado de fora.

Milhões de anos não podem ser testemunhados por ninguém, mesmo que a nossa Lucy nos lembre a lonjura do outro tempo. Ordenámos às nossas estrelas, por números incompreensíveis, que se movimentassem e verificassem a nossa existência efémera.

Regulámos os oceanos, alterámos os climas, escavacámos os continentes em derivas oceânicas e mudámos muitas coisas, apenas e só, para matarmos as saudades remotas da realidade perdida. Acelerámos os processos para podermos ter a sensação de os influenciarmos numa forma inequívoca, vendo os oceanos a subir e a invadirem as costas planas, vendo os desertos a percorrerem as nossas colinas, olhando os gelos polares a desfilarem pelas nossas praias.

Olhávamos para os vulcões e deparávamos com a imagem ideal do mundo em mudança. Concedemos-lhes essa indiferença e a nossa incapacidade para os percebermos e controlarmos. Criámos um tempo nosso, curto, capaz de regular a realidade à nossa escala, e apenas como vaga curiosidade olhámos o tempo do outro mundo fora de nós. Se tivéssemos sido capazes de reter os instantes remotos nas esquinas das escarpas, veríamos os oceanos bramindo durante milhões de noites em nós e sem as nossas compreensões. Veríamos as mil e uma noites da diversidade do mundo lá fora, sentiríamos os estranhos vendavais sempre diferentes e, às vezes, muito inesperados, olharíamos as tempestades como o olhar da bonança seguinte e com a surpresa dum mundo indecifrável. Criámos o nosso tempo e, provavelmente, perdemos o mundo do silêncio, do imenso, do longo e do quase eterno. Não percebemos, talvez, que a fronteira do mundo está na sua velocidade, e que essa, por muito rápida é, por isso, capaz de criar o eterno e o infinito.

Acelerámos muitos acontecimentos, talvez com a ânsia de lhes conferir mais realismo. Misturámos, mesmo a brincar, os dinossáurios com os Neanderthal, os caças supersónicos, ferozmente equipados com armas poderosas, com os meteoritos, em rota de colisão com a nossa casa comum. Fomos mesmo, talvez, visitados por habitantes de outras galáxias, agora que aqui estamos e somos a melhor razão e pretexto da sua longa viagem.

Conseguimos, por fim e por agora, moldar o tempo à nossa dimensão, adaptando-o socialmente, para que a sua duração e os seus efeitos não pudessem constituir, em cada momento, um elemento de interrogação e de reflexão. Atingimos, finalmente, a capacidade de construir mundos totalmente nossos, nos quais nos podemos isolar da realidade de sempre.

Decidimos, assim, estabelecer, da forma mais convincente possível, a influência que temos e tivemos sobre o funcionamento e as modificações dos sistemas naturais do planeta. Faltava-nos a escala global, algo divina, do exercício do nosso poder e intervenção e, finda a guerra-fria e estilhaçada a natureza bipolar do mundo, descobrimos as transferências e as mudanças globais. O mundo à nossa escala e o tempo à nossa medida. A sensação de condicionar o mundo e acreditar que os processos, mais que naturais e antigos, são formatados por nós, é de facto muito eloquente. Ingénua, certamente, mas merecedora da nossa capacidade de reflexão.

Claro que jamais compreenderemos o turbilhão do fumo, a turbulência do tempo ou o vértice do acaso, mas esta é também a nossa forma de cedermos o lugar que ocupamos.

(Página deixada propositadamente em branco)

