

Mudanças climáticas na história da Terra: Extinções em massa e biodiversidade. Uma breve síntese

Luís M. F. Simões

Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior de Tecnologia e Gestão,
Departamento de Ambiente, Campus Politécnico, P-3504 510 Viseu, Portugal.
E-mail: lsimoes@estv.ipv.pt

Resumo: Pretende-se fornecer uma visão holística, mas necessariamente breve, de como os eventos ou as cadeias de eventos que, ocorrendo ao longo da escala do tempo geológico, não só desencadearam episódios maiores de extinções em massa, mas também promoveram os processos evolutivos das espécies e a biodiversidade. Coloca-se igualmente o assento tónico na necessidade de enquadrarmos as alterações climáticas, que hoje já são sensíveis, não na escala da vida humana, mas numa escala mais adequada aos processos naturais de âmbito global: a escala do tempo geológico.

Palavras-chave: Biodiversidade, Escala temporal, Extinções em massa, Mudanças climáticas.

Abstract: *It is intended to provide a holistic, but necessarily brief, view of how events or chains of events that occurred through the geological time scale, not only triggered major episodes of mass extinctions, but also promoted evolutionary processes of species and biodiversity. The tonic focus was also placed on the need to frame climate changes, which today are already sensitive, not on the scale of human life, but on a scale more suited to global natural processes: the geological time scale.*

Keywords: *Biodiversity, Time scale, Mass extinctions, Climate changes.*

A Terra, tal como hoje a conhecemos, descrita por Carl Sagan como “um planeta antigo com uma civilização novinha em folha”, foi-nos legada por uma sucessão de incontáveis mundos novos e renovados que o tempo geológico e os acontecimentos nele contidos, se encarregou de destruir e de voltar a construir.

Os inícios tendem a ser vagos e difusos. Assim também foi o princípio da Terra, cuja etapa primordial foi marcada pela acreção de uma ínfima e ténue fração nublada, deixada como herança cósmica por

uma estrela que cessou de existir-despedaçada pela voragem gravítica que, há 5 000 milhões de anos (M.a), presidiu ao parto da nova estrela que tudo prende e comanda, no nosso sistema planetário.

Pressão, calor e tempo, são os protagonistas dos acontecimentos solidários e cúmplices que preenchem as histórias da Terra e da Vida na Terra há, pelo menos, 3 800 M.a. Tais histórias são faces de uma mesma moeda que, como um todo coerente, conta, não só a história da nossa casa comum - a Terra, como a história de nós mesmos. Quando procuramos compreender o sistema terrestre, como funciona, que dinâmicas e que sinergias foram sendo geradas nos processos evolutivos dos seus constituintes, de que modo e em que direção aquelas guiaram esta evolução, é com uma escala temporal desta ordem de grandeza que temos de lidar - a escala do tempo geológico - e não com outra. A tentativa de o fazermos na escala do tempo histórico, ou mesmo na escala mais alargada do tempo evolutivo do *Homo sapiens*, só nos propicia uma visão obscura e desfocada do que aconteceu antes, ... do que aconteceu muito antes de nós, humanos, existirmos; é como ler a última página do último capítulo de um livro e julgar que se apreendeu todo o conhecimento acumulado na biblioteca!

É a partir desta perspetiva temporal, para muitos, incompreensível, estranha e desorientadora, que os geólogos operam. Para estes, milhões de anos e os acontecimentos neles contidos, passam a correr - são breves instantes geológicos: continentes fendem-se, afastam-se e colidem; mares abrem-se e fecham-se; cordilheiras erguem-se e são desmanteladas; as espécies originam-se, evoluem e extinguem-se. Quando o objetivo é compreender as profundidades do tempo geológico que se estendem atrás de nós por milhares de milhões de anos, e se alongam diante de nós até ao infinito, é necessário cultivar esta perspetiva. Assim estaremos aptos a entender melhor o modo como as geodinâmicas modelaram a Terra e guiaram a Vida que aquela acolheu ainda durante a infância, e como condicionaram a origem e a evolução das espécies.

Ver o Planeta pela lente das Ciências da Terra é espriar o olhar ao longo da coluna profunda do tempo geológico; é como ver o mundo, os mundos, em permanente renovação, sempre pela primeira vez.

Há 201 M.a, o final do Período Triássico foi marcado por intensa atividade vulcânica que cobriu de lava mais de 10,3 milhões de km² da superfície da Terra, inundou a atmosfera de dióxido de carbono e de dióxido de enxofre e acidulou os oceanos durante milhares de anos. As erupções vulcânicas de então e as forçagens que exerceram sobre a química da atmosfera e dos oceanos e sobre os sistemas climáticos, provocaram, num instante de tempo geológico, a extinção de mais de três quartos da vida animal existente no Planeta. No mar os recifes, as amonites e os equinodermes, bem como os braquiópodes e os gastrópodes quase foram extintos; em terra desapareceram os últimos anfíbios labirintodontes, assim como os diápsideos arcosaurios.

Mas, para já, centremos a nossa atenção em alguns elementos da paisagem contemporânea, por exemplo, numa cidade. Será que a urbe onde, por ruas e vielas, deambulamos e que nos é tão familiar, irá ser preservada como o foi este diorama Triássico? Talvez... mas, no logo cronoestratigráfico apenas será representada por uma fina camada de detritos que, mais cedo ou mais tarde na história geológica local, a erosão tenderá a reduzir a muito pouco ou a quase nada! Claro que alguns fragmentos-símbolo

da civilização moderna farão o seu caminho rumo às bacias de sedimentação e ao inexorável enterramento. Assim é possível que num futuro geológico, alguns destes objetos paradigmáticos da nossa contemporaneidade, aflorem à luz do dia, alimentando a curiosidade e a indiscrição dos geólogos de então (Geólogo, uma profissão com futuro!): umas quantas moedas e uma quantidade razoável de latas deformadas de conservas e de bebidas; mas, como nosso testemunho, para a ciência e goáudio de alguns daqueles, ainda persistirão uns quantos indicadores isotópicos!

As geodinâmicas tendem a transformar tudo em muito pouco, para de novo voltarem a construir, em pouco tempo geológico.

Na sucessão dos períodos geológicos, a extinção de espécies¹ decorre, como se fosse um murmúrio suspirado e plácido da evolução da Vida, a uma taxa inferior à da especiação (Taylor, 2004). No entanto, momentos houve em que tal murmúrio se transformou em grito pungente de destruição e morte. Tais momentos, designados por “extinções em massa”, são definidos por Hallam & Wignall (1997), dois ilustres paleontólogos britânicos, como um conjunto de episódios que eliminam uma “porção significativa do biota num período de tempo geologicamente insignificante”; por sua vez Jablonski (1995) coloca o acento tónico nas perdas rápidas e à escala global, de biodiversidade; Benton (2003), paleontólogo e professor na Universidade de Bristol, serve-se da metáfora da *árvore da vida* para referir que “durante uma extinção em massa, grandes porções da árvore são truncadas, como se tivesse sido atacada por alienados empunhando machados”. Tal como Brannen (2017), também nós definimos “extinções em massa”, como um evento ou uma cadeia de eventos que, ao ser desencadeado, causou a extinção de pelo menos, metade das espécies então existentes, em menos de um milhão de anos. Sabemos hoje graças à geocronologia fina, que os episódios maiores de extinção em massa terão ocorrido muito mais rapidamente, não na escala do milhão de anos, mas em alguns, por vezes poucos, milhares de anos.

Na linha do tempo geológico, o risco de ocorrência de extinções em massa é baixo, mas “esta segurança relativa é pontuada, a intervalos raros, por um risco extremamente elevado” (Raup, 1991, 2004). Nos 540 M.a volvidos desde a explosão de biodiversidade complexa, abateram-se sobre o Planeta e sobre a Vida que aquele suporta e sustenta, cinco episódios maiores de extinção em massa: o primeiro no Ordovícico final, há cerca de 444 M.a, o segundo no Devónico final, há 359 M.a, o terceiro no final do Pérmico e que marcou, há cerca de 252 M.a, o fim da era Paleozoica, o quarto, já no Mesozoico, sublinha há 201 M.a, a transição Triássico-Jurássico e, por último, a sucessão de eventos do final do Cretácico (65 M.a) e, com eles, o fim da Era Mesozoica (Fig. 1).

De acordo com o registo fóssil marinho, todos estes momentos foram acompanhados pelo declínio acentuado da biodiversidade ao nível da família e, claro, ainda mais acentuadamente ao nível do género. No caso de sobrevivência de pelo menos uma espécie de um determinado género, este não é

¹ O conceito de extinção de espécies foi estabelecido na França revolucionária, por Georges Cuvier (1769-1832). Este naturalista provou com estudos de anatomia comparada, que as ossadas fósseis de mamutes e mastodontes encontradas no norte da Europa e nas margens do Ohio no estado de Kentucky, EUA, respetivamente, diferiam das ossadas dos elefantes asiáticos e africanos atuais, e que, portanto, pertenciam a espécies distintas que deixaram de existir.

contabilizado como extinto; por tal, ao nível das espécies, a contabilização das perdas terá de ser muito maior.

Na história geológica, está hoje bem estabelecido o papel que as mudanças bruscas e profundas das condições paleoambientais dos sistemas climáticos e dos oceanos tiveram no despoletar dos episódios de extinções em massa, bem como e por extensão, nos processos evolutivos das espécies.

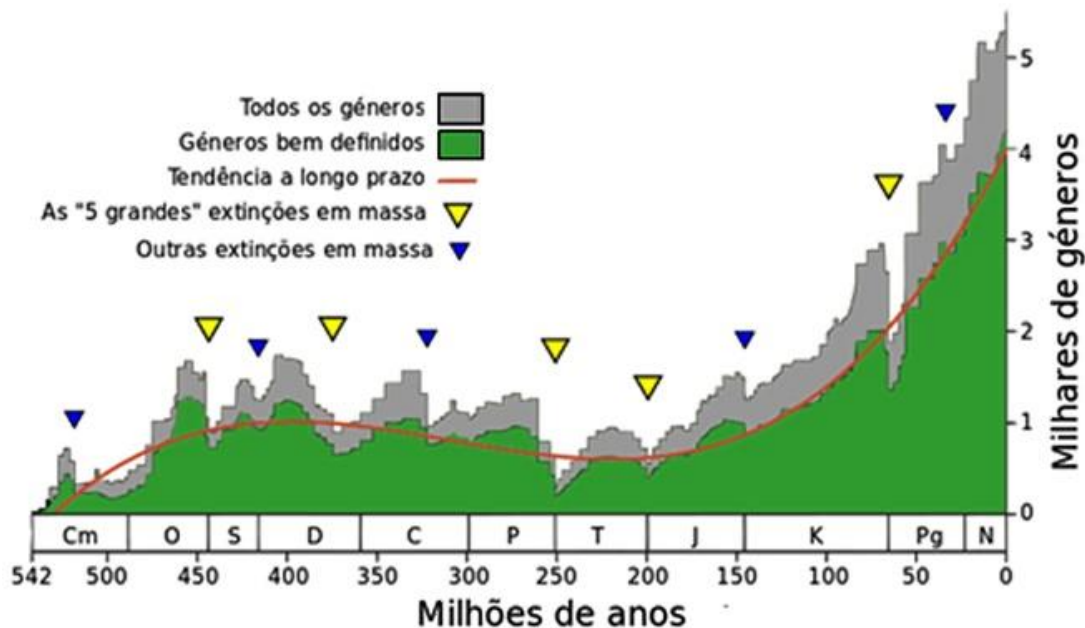


Figura 1 - Evolução da biodiversidade no Fanerozoico, contabilizada ao nível do género: as cinco grandes extinções em massa, e mais algumas outras de menor expressão quantitativa. Note-se que o forte incremento verificado a partir o Cretácico é, em parte, artificial, resultando de um maior número de géneros descritos em função do melhor grau de preservação dos fósseis, sobretudo no Cenozóico. Cm. Câmbrico; O. Ordovícico; S. Silúrico; C. Carbonífero; P. Pérmico; T. Triássico; J. Jurássico; K. Cretácico; Pg. Paleogénico; N. Neogénico e Quaternário. [Fonte: modificado de Rohde et al., 2005]

Os episódios de extinções em massa ocorridos nos últimos 350 M.a, estiveram relacionados, de uma forma mais ou menos causal, com períodos de intensa atividade vulcânica que originaram escoadas de lava à escala continental e criaram cenários de catástrofe que desafiam a nossa imaginação mais prolífera.

Devido a estes cataclismos eruptivos, a atmosfera terrestre ficou saturada de dióxido de carbono e de dióxido de enxofre e o efeito de estufa assim aumentado, recriou um Planeta com continentes escaldantes e estéreis e oceanos acidulados e anóxicos. A atividade vulcânica, que fratura e modela as superfícies dos continentes, é igualmente capaz de gerar o caos climático e oceânico (Brannen, 2017).

No entanto as histórias que os registos geológico e fóssil nos contam, não têm enredos assim tão lineares; nelas se revelam outros protagonistas, de outros acontecimentos.

A Vida tem dado provas de resiliência... mas não de infinita resiliência!

Talvez a cadeia de eventos mais icônica da história da Terra e da Vida, foi aquela que, há 65 milhões de anos, foi desencadeada na sequência do impacto de um asteroide com cerca de 10 km de diâmetro, com a Terra, num local perto da povoação de Chicxulub, a norte da península do Iucatão, no México. A prova deste impacto, identificada no final da década de 1970 por Walter Alvarez² quando, em Itália, estudava as origens dos Apeninos, está preservada numa fina camada de argila escura, intercalada em estratos calcários que constituem a sucessão estratigráfica aflorante num desfiladeiro conhecido por *Gola del Bottacione*, localizado perto da cidade de Gubbio, a pouco mais de 150 km a norte de Roma. Esta camada de argila apresenta uma forte anomalia positiva em irídio³ e define em *Gola del Bottacione*, a transição brusca entre calcários do Cretácico Superior (Maastrichtiano), ricos em fósseis de numerosas espécies de foraminíferos planctónicos com conchas relativamente grandes (da dimensão de grãos de areia fina) e, superiormente, estratos calcários igualmente ricos em foraminíferos planctónicos, mas com conchas mais pequenas e pertencentes a um número reduzido de espécies. Tais observações interrogaram a formação “uniformitarista-gradualista” de Walter Alvarez: como entender que, há luz do que acontece e observamos hoje (finais da década de 1970), os grandes foraminíferos, abundantes no estrato-muro da camada de argila escura, tivessem desaparecido no estrato-teto, sendo substituídos abruptamente por foraminíferos mais pequenos e conchas com formas menos diversificada? Qual a origem dos elevados teores de irídio verificados na fina camada de argila escura⁴? Como justificar o desaparecimento dos grandes foraminíferos no momento imediato localizado acima da camada de argila e por volta da mesma época em que se sabia terem desaparecido da face da Terra, outros seres icónicos da fauna e flora cretácica?

A resposta a estas e a outras interrogações obtida depois de muitos estudos, observações e descobertas à escala mundial, permitiram a Walter Alvarez formular a teoria, hoje transformada em paradigma científico, da extinção de espécies devido ao impacto com a Terra de um grande meteorito, ocorrido há cerca de 66 M.a.

Quando passados alguns milhares de anos, um piscar de olhos na escala do tempo geológico, a poeira assentou, tanto literal como metaforicamente, tinham sido extintos não só os dinossaúros não-avianos, mas também mais de 65% de outros membros ilustres do registo fóssil, tais como as amonites e belemnites, os rudistas e os grandes foraminíferos cretácicos. Desde então o mundo teve que se adaptar a viver sem os seus dragões.

Por esse tempo, uma faixa de terra no centro da Índia e que hoje constitui o Planalto do Deccão, sofria intensa atividade vulcânica que, persistindo por milhares de anos, gerou verdadeiros mares de lava basáltica e libertou gases e poeira em tais quantidades que envenenaram a atmosfera terrestre e impediram que a luz do Sol alcançasse a superfície do planeta durante anos. Apesar dos icónicos

² Geólogo norte-americano, professor do departamento de Ciências Planetárias e da Terra da Universidade da Califórnia, Berkeley. Em conjunto com o seu pai, Luis W. Alvarez, é responsável pela descoberta de uma fina camada de argila escura, representativa de um horizonte estratigráfico, que, à escala planetária, marca o limite Cretácico - Paleogénico (K-Pg).

³ Elemento químico comum em asteroides, mas escasso na superfície terrestre.

⁴ Observações posteriores, identificaram a camada de argila escura com a anomalia positiva em irídio em diversos pontos da Terra, tais como na Dinamarca, Nova Zelândia, entre outros.

dinossáurios monopolizarem o interesse da literatura dedicada à divulgação científica e pontuarem o imaginário mais recôndito do nosso passado, o registo geológico revela-nos, no entanto, que a causa primeira das extinções em massa pode não ser encontrada apenas nos vulcões ou em fragmentos do sistema solar caídos do céu.

Neste sentido, a comunidade científica tem-se empenhado, nas últimas décadas, em clarificar o papel que os ciclos de atividade solar, a geoquímica envolvida nos processos diagenéticos, a tectónica de placas e a própria biosfera, têm na captura e aprisionamento do dióxido de carbono atmosférico e nas mudanças da química e da variação eustática do nível médio das águas dos oceanos.

A figura 2 mostra a evolução a longo prazo das relações isotópicas de oxigênio medidas em fósseis marinhos durante o Fanerozoico e relatada por Veizer et al. (1999).

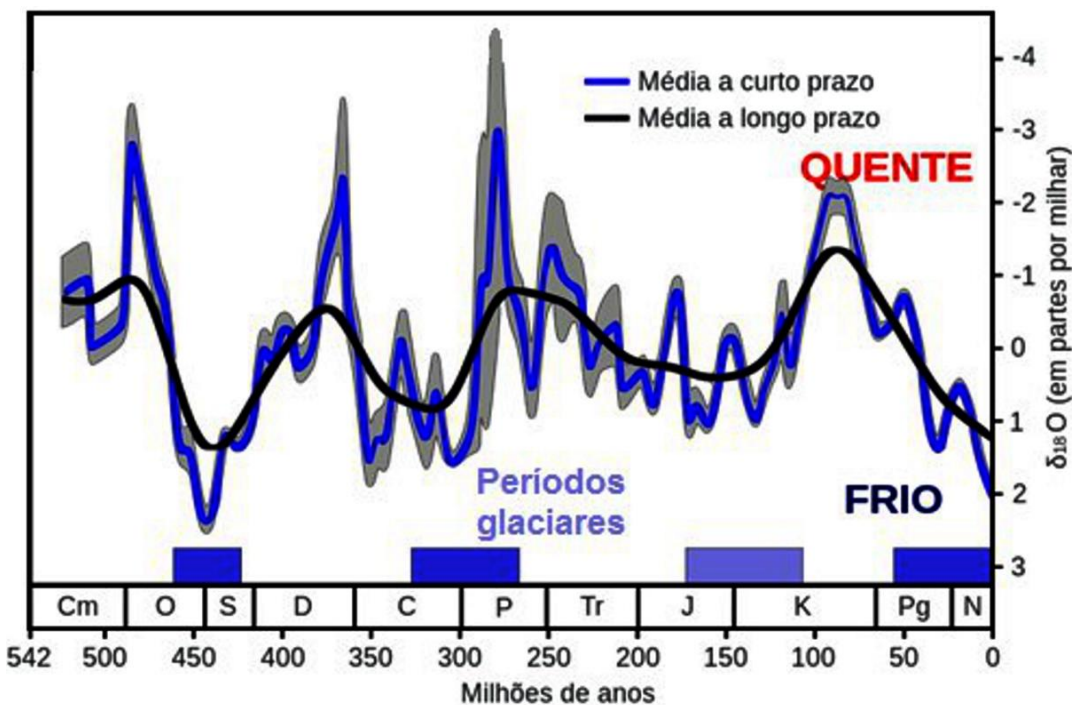


Figura 2 - Variação a curto e a longo prazo das concentrações do isótopo ^{18}O medidas em fósseis marinhos durante alterações climáticas verificadas no Éon Fanerozoico. Cm. Câmbrico; O. Ordovício; S. Silúrico; C. Carbonífero; P. Pérmico; T. Triássico; J. Jurássico; K. Cretáceo; Pg. Paleogénico; N. Neogénico e Quaternário [Fonte: modificado de Veizer et al., 1999]

Tais relações traduzem não só a paleotemperatura dos locais de sedimentação, como a temperatura associada a mudanças climáticas globais. Como tal, variações relativas das relações isotópicas de oxigênio podem ser interpretadas como mudanças bruscas no clima. A conversão quantitativa entre esses dados e as mudanças de temperatura ainda está sujeita a muitas incertezas sistemáticas; no entanto, estima-se que a alteração de cada parte por mil na $\delta^{18}\text{O}$ represente aproximadamente, uma variação de 1,5 - 2,0 °C nas temperaturas da superfície dos oceanos tropicais (Veizer et al., 2000).

Na extinção em massa que ocorreu há 445 M.a, no final do Período Ordovícico - a segundo maior da história da Terra, em termos de perda percentual de biodiversidade - o teor de dióxido de carbono atmosférico diminuiu significativamente, tendo a Terra sido aprisionada numa calote de gelo.

No entanto, a causa imediata desta extinção em massa, parece estar também relacionada com a deriva para Sul, rumo à região polar, do supercontinente Gondwana. A nova geografia que então se ia construindo terá contribuído para a entrada do planeta num período glacial, com a consequente descida do nível médio das águas oceânicas.

Não esqueçamos que, naquele tempo, a vida estava confinada aos oceanos, pelo que, mudanças climáticas e paleoambientais como as relatadas, originaram ao longo das plataformas e taludes continentais a disrupção dos habitats e dos ecossistemas e a extinção de mais de 65% dos invertebrados marinhos, incluindo dois terços de todas as famílias de braquiópodes inarticulados e de briozoários, entre outras.

São eventos como os que aqui são descritos que, ao atingirem o sistema terrestre, geraram as condições disruptivas dos vetores paleoambientais e, com elas, o incremento da expansão cíclica de biodiversidade.

Esta é, porém, uma história com ecos inquietantes no mundo contemporâneo; um mundo que já está a sentir as consequências de mudanças climáticas, que não estão a ocorrer na escala das centenas ou das dezenas de milhares de anos, mas sim numa escala muito mais comprimida: numa escala de décadas.

Está hoje bem estabelecida a correlação positiva que existe entre as elevadas concentrações de dióxido de carbono na atmosfera (sobretudo em períodos nos quais as concentrações de CO₂ subiram rapidamente) e as extinções em massa ocorridas nos últimos 300 M.a. Se é nessa correlação que encontramos o “fator impulsionador das extinções em massa” (Ward, 2007), é também nela que podemos identificar um dos fatores desencadeadores mais relevantes da evolução das espécies e da sua biodiversidade (Fig. 3).

Como a civilização contemporânea não se cansa de evidenciar, a atividade vulcânica não é o único mecanismo de libertação rápida para a atmosfera de enormes quantidades de dióxido de carbono. Atualmente, a humanidade afadiga-se a trazer à superfície centenas de milhões de anos de carbono de formas antigas de vida e a queimá-lo em motores de combustão e em centrais elétricas. Se continuarmos a persistir nesta tarefa, os valores de temperatura na troposfera terrestre irão aumentar ... aumentar muito, a acidez e a anoxia dos oceanos ... também - como aliás, já aconteceu no passado geológico da Terra e que está bem documentado no registo fóssil.

Num futuro que se perspectiva próximo, a ocorrência de ondas de calor e de vagas de frio cada vez mais frequentes e prolongadas, tornar-se-ão elementos característicos do novo normal climático. Na sequência destes paroxismos meteorológicos, os oceanos tenderão a ser cada vez mais acidulados e anóxicos, e vastas áreas continentais tornar-se-ão territórios inóspitos - a civilização será então, colocada perante ameaças cuja fronteira da destruição potencial é, pelo menos por agora, desconhecida. Caso tal fronteira seja ultrapassada, o planeta regressará a uma situação que, apesar

de inédita para nós, humanos, está, já por diversas vezes, inscrita e descrita nas rochas e na evolução das espécies.

Apesar do que foi dito, é de elementar justiça referir que a subida global da temperatura média troposférica não será necessariamente nefasta.

Por exemplo, durante o Cretácico (~145 - 66 M.a.) a atmosfera registou teores de dióxido de carbono elevados, resultando daí um mundo mais quente do que aquele em que vivemos e, no entanto, nesse Período, a vida florescia e prosperava. Mas, quando as mudanças nos sistemas climáticos, na química e na temperatura dos oceanos ocorreram de modo repentino, na escala do tempo geológico, as consequências foram devastadoras - a Vida na Terra foi sacudida por extinções em massa.

Esta é, com certeza, uma das perspetivas mais preocupantes para a humanidade.

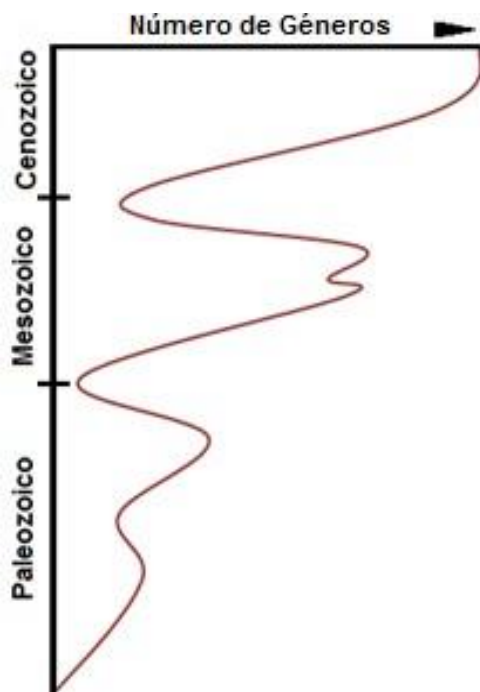


Figura 3 - Progressão cíclica da biodiversidade relacionada com os eventos maiores de extinção em massa⁵.

A experiência que andamos hoje a fazer - injetar para a atmosfera enormes quantidades de dióxido de carbono num curto intervalo de tempo - já foi realizada várias vezes no passado da Terra e, sabemos agora, nunca acabou bem.

Esta é uma das revelações da Geologia.

Os cinco piores episódios da história da Terra e da Vida foram todos associados a mudanças violentas e bruscas no ciclo do carbono do Planeta.

Ao longo do tempo, este elemento fundamental vai transitando entre os reservatórios biológicos e geológicos: o dióxido de carbono, libertado para a atmosfera por erupções vulcânicas, é capturado por seres vivos oceânicos, a partir do qual segregam, por exemplo, os seus exoesqueletos carbonatados.

⁵ Em 1841, John Phillips, que sucedeu a Charles Lyell na presidência da *Geological Society of London*, dividiu a história da vida em três capítulos: ao primeiro chamou Paleozoico (em grego, "vida antiga"); ao segundo, Mesozoico (em grego, "vida intermédia"); ao terceiro, Cenozoico, que significa "vida nova" (Kolbert, 2014).

Ao morrerem, os exoesqueletos desses seres acumulam-se no fundo do mar e os sedimentos biogénicos assim formados, transformam-se, por diagénese, em rochas carbonatadas (e.g. calcário).

Quando, no processo de colisão de placas tectónicas, estas rochas são subdutadas para níveis profundos da litosfera terrestre, sofrem aquecimento e, eventualmente, fusão, e o dióxido de carbono nelas aprisionado, é libertado pela atividade vulcânica, regressando à atmosfera. E assim sucessivamente.

Injeções extraordinárias de dióxido de carbono para a atmosfera e para os oceanos são acontecimentos com potencial para curto-circuitarem a química da vida.

Todavia, não levemos a analogia longe demais. Apesar de já termos feito demonstração do nosso potencial destrutivo, ainda não produzimos nada que seja causa ou consequência próxima dos níveis de destruição e morte que ocorreram em cataclismos globais passados. Por enquanto, o epitáfio da humanidade não tem de incluir a acusação de ter causado a sexta maior extinção em massa da história da Terra.

Num mundo onde as boas notícias vão escasseando, esta é, com certeza, uma delas.

Que a Terra quase tenha ficado azoica por cinco vezes nos últimos 540 M.a., constitui, em si mesmo, um facto verdadeiramente espantoso, pelo que, numa altura em que forçamos a química e a temperatura do sistema clima-oceano a entrar em territórios que já não são pisados há dezenas de milhões de anos, deveríamos ter curiosidade em saber onde se encontram os limites que não podem ser ultrapassados; e caso tal aconteça, quão mau, exatamente, pode vir a ser isso?

A compreensão dos fatores que geraram mudanças paleoambientais, bem como aqueles que originaram extinções em massa, contribui, com certeza, para dar uma resposta a esta pergunta.

Assim, percorrer o tempo geológico desde as suas profundezas difusas até à superfície luminosa, proporciona uma janela aberta de onde se pode vislumbrar o futuro (Fig. 4).



Figura 4 - *La fenêtre*, P. Delvaux, 1936 [Fonte: <http://www.museedixelles.irisnet.be/images/actualites/Delvaux%20-%20La%20fenetre.jpg/view>].

Dedicatória: É para isso, Celeste, geóloga, colega e amiga, que aqui te deixo, com saudade, a minha homenagem.

Referências bibliográficas

- Benton, M. (2003). *When life nearly died: the greatest mass extinction of all time*. New York: Thames and Hudson.
- Brannen, P. (2017). *The ends of the world - Volcanic apocalypses, lethal oceans and our quest to understand Earth's past mass extinctions* (pp. 13-24). New York: Ecco/Harper Collins.
- Hallam, A., & Wignall, P. B. (1997). *Mass extinctions and their aftermath*. Oxford: Oxford University Press.
- Jablonski, D. (1995). Extinction in the fossil record. In R. M. May, & J. H. Lawton (Eds.), *Extinction rates* (pp. 25-44). Oxford: Oxford University Press.
- Kolbert, E. (2014). *The sixth extinction: an unnatural history*. New York: Henry Holt & Company, McMillan Publishers.
- Raup, D. M. (1991). *Extinctions: bad genes or bad luck?* New York: Norton.
- Raup, D. M. (2004). Biogeographic extinctions: A feasibility test. *Geological Society of America: Special Papers*, 190, 277-282.
- Rohde, R. A., & Muller, R. A. (2005). Cycles in fossil diversity. *Nature*, 434, 208-210.
- Taylor, P. D. (2004). *Extinctions in the History of Life*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Veizer, J., Ala, D., Azmy, K., Bruckschen, P., Buhl, D., Bruhn, ... Strauss, H. (1999). $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater. *Chemical Geology*, 161, 59-88.
- Veizer, J., Godderis, Y., & Francois, L. M. (2000). Evidence for decoupling of atmospheric CO₂ and global climate during the Phanerozoic Eon. *Nature*, 408, 698-701.
- Ward, P. D. (2007). *Under a green sky: global warming, the mass extinctions of the past, and what they can tell us about our future*. New York: Smithsonian/Harper Collins.