



## Paradoxo do Jovem Sol Fraco

A Terra oferece-nos poucas pistas sobre o clima dos primeiros dois mil milhões de anos – aliás, grande parte do que se sabe sobre o clima da Terra nos tempos primitivos vem do espaço. Através do estudo de estrelas semelhantes ao Sol, os astrónomos deduziram que o aquecimento solar (uma reação nuclear contínua que forma hélio a partir do hidrogénio) foi progressivo até atingir a sua intensidade atual. Parece que, no início, a luminosidade do Sol tinha apenas entre 70% e 75% do valor atual, tendo aumentado lentamente ao longo do tempo. Com um Sol tão fraco é fácil imaginar uma Terra gelada e deserta – mas isso não corresponde à verdade. Os fósseis de pequenas bactérias demonstram a existência de vida há 3,5 milhares de milhões de anos, e as rochas desse período revelam erosão provocada pela água, atestando que a Terra não era só gelo. Então como é que a Terra se manteve suficientemente quente para sustentar formas de vida durante esses primeiros anos? Esta dificuldade foi batizada pelos paleoclimatologistas como o “paradoxo do jovem Sol fraco”.

Os gases de efeito de estufa serão talvez a solução mais óbvia para resolver o paradoxo. Em determinada quantidade, o dióxido de carbono no ar mantém a Terra suficientemente quente para sustentar vida, mesmo com um Sol fraco. A quantidade de carbono hoje armazenada nos combustíveis fósseis e nos oceanos é mais do que suficiente para ter provocado esse efeito de estufa se estivesse na atmosfera durante a época em que o Sol estava mais fraco. Os vulcões conseguem enviar grande quantidade de gases com efeito de estufa para a atmosfera em curtos períodos de tempo. Pensa-se que foi precisamente isso que aconteceu. A atividade vulcânica intensa nos primórdios da Terra teria expelido quantidades de dióxido de carbono suficientes para evitar que o Planeta congelasse. Porém outra questão se levanta: como é que os níveis de dióxido de carbono diminuíram gradualmente ao longo de milhares de milhões de anos ao ritmo necessário para manter a Terra quente? É possível, mas improvável, que a atividade vulcânica tivesse diminuído exatamente a esse ritmo. Outra possibilidade é que um fator climático diferente tivesse mantido os gases de efeito de estufa nos limites toleráveis para a vida na Terra.

Este fator poderia ter sido a constante expansão e elevação dos continentes durante grande parte da história terrestre. As massas terrestres diminuem as quantidades de dióxido de carbono no ar através de um processo de milhares de milhões de anos chamado meteorização química, que ocorre quando a neve e a chuva caem sobre rochas que contêm silicato. A humidade e os silicatos reagem à presença de dióxido de carbono, absorvendo o CO<sub>2</sub> do ar. Em seguida o carbono e a água seguem em direção ao mar, e grande parte do carbono é depositado nos sedimentos oceânicos que gradualmente se vão transformando em rocha. Este processo ancestral é responsável por cerca de 80% do carbono hoje armazenado no subsolo (em contacto com o calcário, a chuva e a neve também absorvem CO<sub>2</sub> do ar mas, neste caso, o carbono que vai para o fundo do mar é aproveitado pelas criaturas marinhas para o crescimento das conchas, num processo que acaba por devolver o carbono à atmosfera). A meteorização química é um processo de tal maneira poderoso que as recentes eras glaciárias poderão ter sido desencadeadas pela elevação dos himalaia ao longo dos últimos 55 milhões de anos.

A meteorização química também pode influenciar a atmosfera através de um processo de retroação negativa, ou seja, um processo que tende a equilibrar as alterações climáticas em ambos os sentidos. Regra geral, quando aumenta o calor, o processo de meteorização química torna-se mais rápido, aumentando também a quantidade de dióxido de carbono extraída do ar. Em primeiro lugar isto deve-se ao facto de as reações químicas que permitem meteorização serem mais rápidas a temperaturas elevadas. O outro motivo é que, quando os oceanos estão mais quentes, enviam mais vapor de água para o ar, intensificando a precipitação nos continentes, e esta, por sua vez, estimula a meteorização. Assim, quanto mais quente estiver a atmosfera, mais dióxido de carbono é extraído dela através da meteorização ajudando a desencadear uma tendência de arrefecimento. De forma inversa, se o gelo começar a espalhar-se pelos continentes, a meteorização diminuirá, fazendo com que os níveis de dióxido de carbono aumentem, contrariando o processo de glaciação.

A multiplicação das formas de vida vegetal, que começou há cerca de 400 milhões de anos, foi outro travão para as emissões de gases de efeito de estufa. As plantas e as árvores absorvem dióxido de carbono através da fotossíntese, libertando-o quando morrem. Em geral, as plantas desenvolvem-se melhor em ambientes quentes e húmidos – assim, quanto mais quente ficar, mais plantas teremos para ajudar a arrefecer a atmosfera. O conceito de Gaia defende que a vida é a principal fonte de retroações negativas, ou de equilíbrio, de todo o sistema terrestre.

Naturalmente há vários efeitos de retroação positiva na relação entre CO<sub>2</sub> e clima. Por exemplo, à medida que o dióxido de carbono se acumula na atmosfera e aquece o Planeta, a quantidade de vapor de água – outro gás de efeito de estufa – que se evapora, aumenta elevando a temperatura. Da mesma forma, à medida que os oceanos ficam mais quentes e passam a absorver menos dióxido de carbono, este permanece no ar e intensifica ainda mais o aquecimento. É o equilíbrio entre as retroações positivas e negativas que determina a evolução do clima em determinado período. A maior preocupação do século XXI é que as retroações positivas, como as que estão agora a ocorrer na Antártida, se sobreponham às negativas – muitas das quais, como a meteorização, se processam mais lentamente.

Os paleoclimatologistas partem do pressuposto que as concentrações de gases de efeito de estufa estão intrinsecamente associadas aos aumentos e diminuições da temperatura global, como comprovam as amostras de gelo e outros registos. Existe, no entanto, uma subtilidade nesta relação – frequentemente apontada pelos célticos do aquecimento global. As alterações no CO<sub>2</sub> estão de tal forma associadas ao aumento e diminuição dos lençóis de gelo que se torna difícil determinar qual surgiu primeiro e quando.

Por exemplo, parece que ocorreram períodos em que o vulcanismo subaquático produziu quantidades tão elevadas de CO<sub>2</sub> que desencadearam aumentos notáveis da temperatura, e outros em que os ciclos orbitais desencadearam o crescimento de lençóis de gelo e uma descida da temperatura, acompanhada por uma consequente descida do CO<sub>2</sub>. Os paleoclimatologistas ainda estão a tentar decifrar estas cadeias de eventos. Aparentemente, as alterações orbitais desempenham um papel fundamental para o surgimento e conclusão das eras glaciárias, mas durante as fases de crescimento e degelo há um encandeamento de retroações positivas entre o CO<sub>2</sub>, o gelo e outros fatores climáticos. Por exemplo, oceanos mais frios absorvem mais dióxido de carbono, intensificando o arrefecimento. O facto de o CO<sub>2</sub> atrasar uma grande alteração climática não significa que tenha um papel ativo no seu desencadeamento – e poderá ser esse o caso da situação em que nos encontramos atualmente.<sup>1</sup>

---

#### <sup>1</sup> Referências

- APA – Agência Portuguesa do Ambiente (2009). Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990-2007.
- Carvalho A. (2008). Forest fires and air quality under a climate change scenario. Department of Environment and Planning. University of Aveiro. PhD.
- Henson, R. (2009). Alterações Climáticas - Sintomas, Ciência, Soluções. Civilização Editores, ISBN 978- 989-550-725-2. pp. 384. Porto.
- Lopes, M. (2004). Alterações climáticas: avaliação económica no apoio à decisão política. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro.
- Monteiro, A., "A composição química da atmosfera: contributo da climatologia para a implementação de uma política de desenvolvimento sustentado", Revista da Faculdade de Letras – Geografia, I série, vol v, Porto 1989;