

Aula 12 - Contexto Geológico para formação da vida e assinaturas espectroscópicas e minerais de formas de vida.

1. Introdução:

Nesta aula discutiremos acerca da influência que a atividade biológica exerce sobre características físico-químicas do meio abiótico que a circunda. Numa biosfera primitiva (ou não), são geradas “marcas” da presença de formas de vida sobre materiais abióticos, cujo acesso nos serve de guia em meio a tentativas de recompor essa biosfera por modelos elaborados a partir da Terra.

Veremos através de alguns estudos presentes na literatura algumas diferentes formas como essas características do meio receber e carregar consigo marcas da ocorrência de vida.

2. Influência de processos biogênicos sobre a atmosfera:

Primeiro vamos procurar avaliar que alterações a presença de vida acarreta à atmosfera de um planeta ou lua (ou outro corpo) que a recebe.

Antes mesmo de nos determos na constatação de bioassinaturas, pode ser útil uma breve revisão do conhecimento já adquirido acerca de atmosferas planetárias. Esse conhecimento em relação aos corpos do Sistema Solar nos permite compreender ao menos alguma variedade de atmosferas. Composições químicas de atmosferas planetárias que conhecemos são:

- (1) Quimicamente "redutoras" (ricas em hidrogênio) com névoas orgânicas;
- (2) oxidantes (pobres em hidrogênio) com névoas de sulfato, que podem constituir uma cobertura global (Vênus) ou extremamente tênue (Terra) [ou ausente (Marte) se não houver nenhuma fonte de gás sulfuroso].

Quanto à estrutura, sabemos em atmosferas redutoras haver inversões estratosféricas de absorção de radiação de comprimentos de onda curtos (UV e visível) por metano + névoas, enquanto que onde há atmosferas oxidantes, como na Terra, podem ocorrer inversões estratosféricas dependendo de absorventes fortes (ozônio) em comprimentos de onda curtos em relação ao infravermelho térmico.

Na Figura 1 é apresentado um espectro de absorção ilustrado que vai do óptico ao infravermelho próximo, no qual se procura traçar pistas para identificação espectroscópica da presença de vida noutros corpos fora a Terra, bem como da existência de condições propícias para o acolhimento / surgimento de vida tal como a conhecemos.

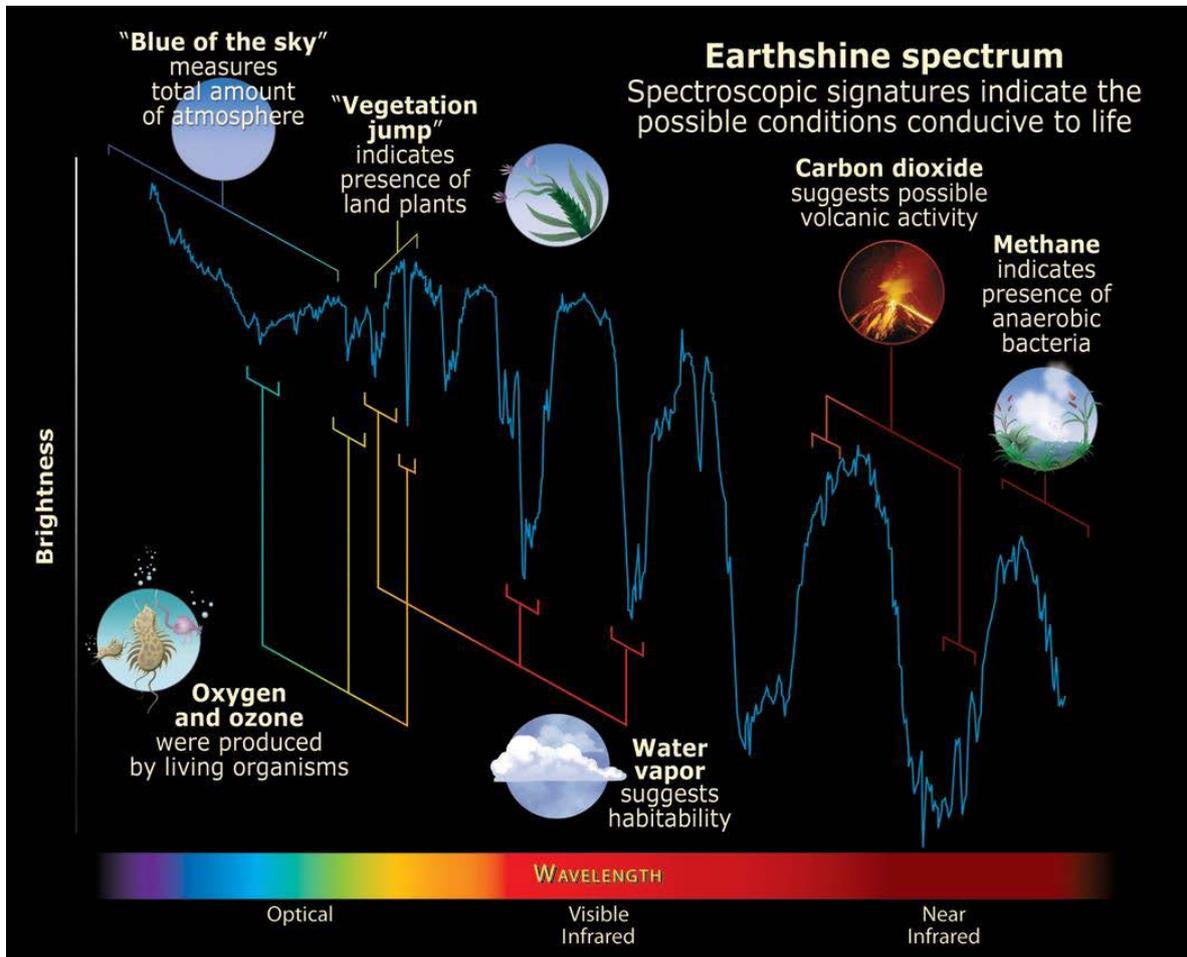
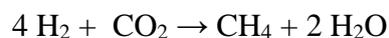


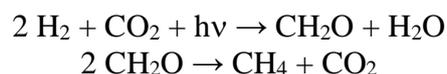
Figura 1: Assinaturas espectroscópicas relacionadas ao surgimento / presença de vida, tal como encontrada na Terra.
 Fonte: Catling (2014).

2.1– Química resultante da atividade biológica:

Algumas reações químicas provocadas por formas de vida na Terra foram identificadas como as principais responsáveis em causar o efeito de alteração da composição atmosférica do planeta. Estima-se que a primeira delas a ocorrer a partir do surgimento da vida primitiva é a conversão de hidrogênio em metano, um gás responsável pelo efeito estufa:



Depois viria a fotossíntese anaeróbica, ou fotorredução:



Além disso, há também posteriormente a remoção de nitrogênio do ar pelo processo chamado de nitrificação (que produz NH_4^+). Já o processo inverso, desnitrificação, inicialmente não devia ocorrer ou se dava de outra forma em relação ao que conhecemos, dado que atualmente depende da presença de intermediários oxidados ($\text{NO}_2^-(\text{aq})$, $\text{NO}_3^-(\text{aq})$), que eram ausentes na Terra anóxica (Catling, 2014).

Mas a principal reação causadora de mudança na atmosfera é sem dúvida a produção de oxigênio molecular, possibilitada pelo surgimento de organismos capazes de estocar carbono na forma de matéria orgânica, através de uma nova forma de fotossíntese, representada de modo resumido pela reação abaixo:



A reação inversa dessa reação pode, naturalmente, tornar a produzir dióxido de carbono e retirar oxigênio do ar, não só ela, mas também outras reações poderiam ser apontadas como responsáveis pelo consumo desse gás. Contudo, pelo considerável aumento da concentração de O_2 , desde menos de 1 ppm até serem alcançados os níveis atuais, podemos estimar que por um período de tempo significativo na escala de tempo da evolução biológica a produção de O_2 prevaleceu.

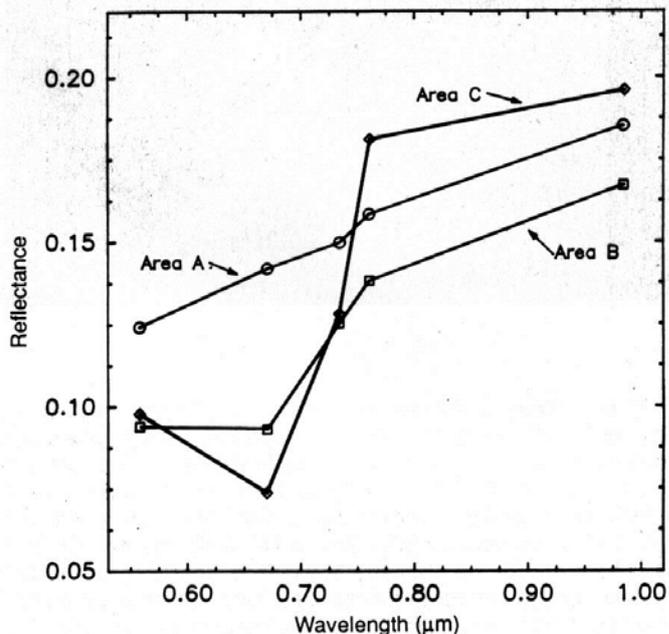
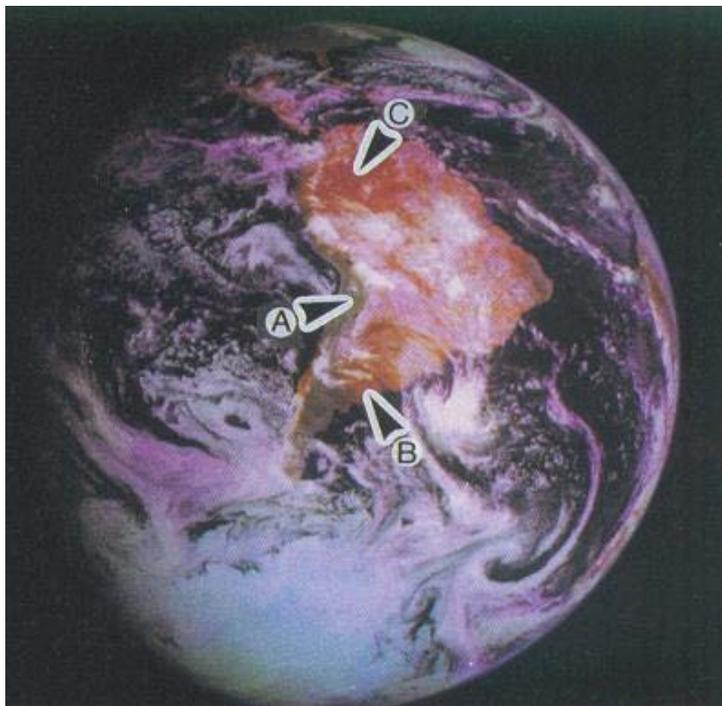


Figura 2: Bandas espectrais centradas na chamada “borda vermelha” (clorofila). Fonte: Catling (2014).

A Figura 2 mostra o efeito de uma quantidade apreciável de vegetação ou população de algas sobre uma caracterização da atmosfera em termos de seu espectro de absorção.

Este fenômeno pode ser caracterizado como um interessante biomarcador na busca de se observar vida similar à da Terra, uma vez que o padrão de absorção para a clorofila não é encontrado em nenhum outro local do Sistema Solar.

3. Modificações causadas em minerais:

Desde que a vida surgiu na Terra, ambas têm passado por um processo de constantes transformações. Dado que já vimos o quanto a atividade biológica pode deixar suas marcas na atmosfera, é natural que surja a pergunta de se a mesma atividade pode, ou o quanto pode, influenciar também a composição da crosta terrestre. Um modo simples de encontrarmos uma resposta afirmativa a esta pergunta é observar a formação de recifes de corais. Em todo caso, diversos estudos têm se dedicado a investigar a extensão dessa influência. Alguns autores, inclusive, têm acreditado essa extensão poderia compreender uma escala global, toda a crosta (Rosing *et al.*, 2006). Uma mostra ilustração dessa linha de compreensão está na Figura 3 abaixo.

4567 Myr ago Earth accreted from material similar to chondrite meteorites. The metal core segregated shortly after.

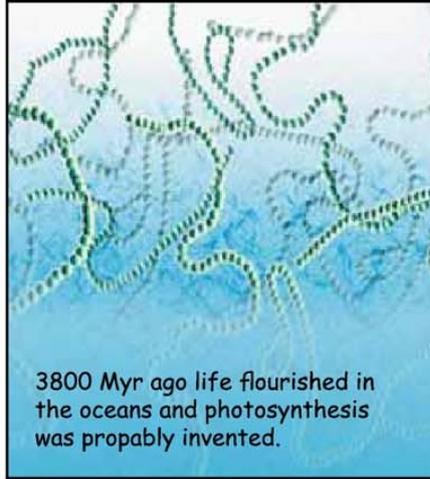


During the following 850 Myr (1 1/2 Phanerozoic time span) Earth did not produce any lasting geologic constructions.



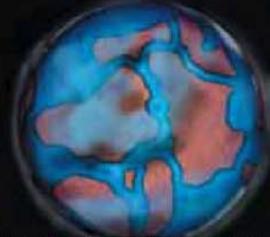
Oceans most probably formed on Earth's surface 4400 Myr ago.

Which allows the possibility that life may have emerged 4400 Myr ago.

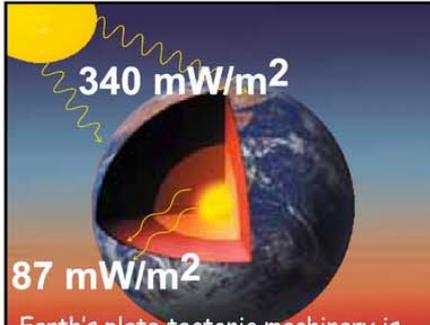


3800 Myr ago life flourished in the oceans and photosynthesis was probably invented.

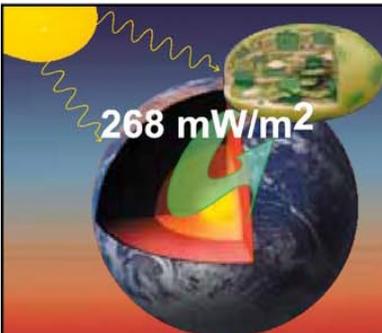
3800 Myr ago continents became stable enough to preserve bits and pieces to our time..



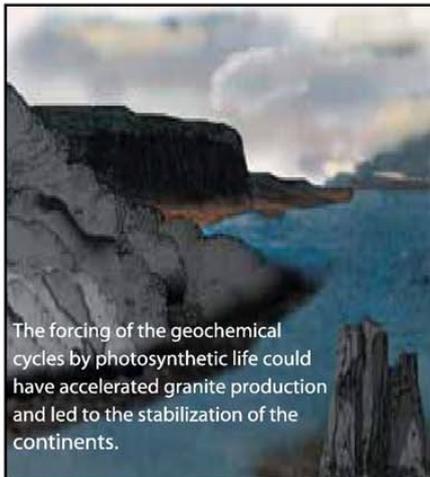
The stabilization of the continents marks the beginning of the geologic record. Some familiar environments are recorded right from the beginning.



Earth's plate tectonic machinery is driven by the internal heat production which provides 87 mW for every m² of Earth's surface. In comparison sunlight contributes 340 W/m² to Earth surface.



Chlorophylls capture 268 mW/m² of the Solar energy and convert it into chemical energy, which help fuel Earth's geochemical cycles.



The forcing of the geochemical cycles by photosynthetic life could have accelerated granite production and led to the stabilization of the continents.

Figura 3: Conjunto de quadros ilustrados mostrando alguns desenvolvimentos importantes na evolução do planeta Terra. Fonte: M.T. Rosing et al.; *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 232, (2006) 99.

Nesse trabalho os autores sustentam a hipótese de que o surgimento dos continentes é uma consequência da atividade biológica forçando o intemperismo e a alteração na diagênese de rochas, e que a energia necessária para conduzir este processo é obtida via fixação fotossintético de energia.

Já no trabalho de Posth e colaboradores, de 2013, foram realizados experimentos com misturas de minerais de ferro (Fe) e matéria orgânica buscando compreender a relação entre esses dois materiais e deles com o meio. Nesses experimentos, observaram-se diversos caminhos de produção da magnetita a partir da mistura de ferridrita e glicose (CH_2O), conforme apresentado resumidamente na Figura abaixo.

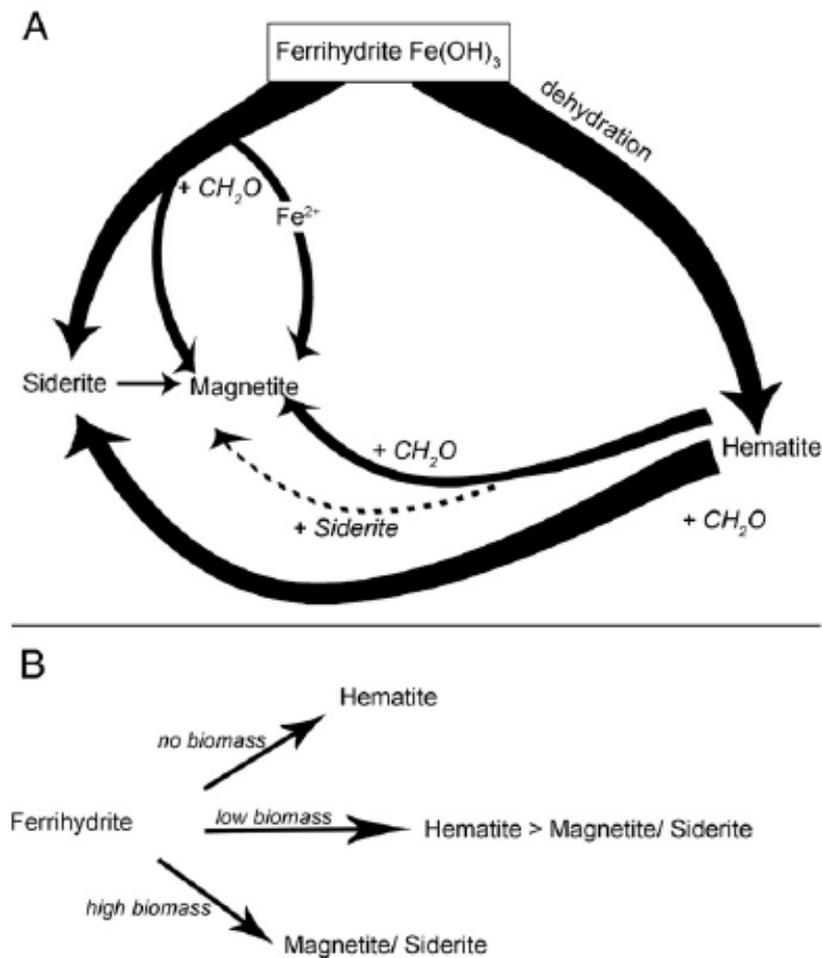


Figura 4: A – Esquema para vias de transformação mineral. Ferridrita desidrata para formar hematita. Com adição de biomassa (CH_2O), siderita pode surgir a partir ferridrita ou de hematita. Hematita ou ferridrita e glicose podem formar magnetita -siderita. Uma via teórica é representada pela linha tracejada; B – diagrama da influência da biomassa no produto mineral. Fonte: N.R. Posth *et al.*, 2013.

4. Uso de datação isotópica

Conforme já visto neste curso, a escala de tempo geológica do planeta Terra costuma ser dividida em diferentes períodos, onde uma das subdivisões nessa escala é chamada de era. Quando paleontólogos ou outros especialistas encontram um fóssil, estão lidando com o remanescente de um ser vivo de uma era geológica anterior, preservado na crosta terrestre. Estudando todo o conjunto de dados extraídos de fósseis,

o chamado registro fóssil, podem recuperar diversas informações sobre as formas de vida de uma dada era, ou mesmo sobre o ambiente que as cercava (*Encyclopædia Britannica*, 2014).

4.1 O estudo de estromatólitos

Os resultados de tais estudos podem permitir tirar conclusões sobre o caráter e a evolução da vida precoce e seus habitats. Tais conclusões são particularmente importantes para a reconstrução da vida Arqueana, que é representado quase inteiramente por estruturas biosedimentares macroscópicas conhecidas como estromatólitos, ou, mais genericamente, microbiólitos. Acredita-se que estes sejam os produtos de mineralização (principalmente calcificação) *in vivo* e / ou post-mortem de tapetes bentônicos de cianobactérias ou microbiota semelhante às cianobactérias.

Num desses estudos, na verdade um trabalho de revisão (Każmierczak *et al.*, 2015), Os autores notaram uma sensível variação (quase que alternância) entre formação estromatólita (ou equivalente artificial) por produção mineral *in vivo* e post-mortem por parte dos microorganismos cultivados. Parte do conjunto de observações que puderam realizadas para os diferentes constituintes minerais gerados pelos microorganismos encontram-se ilustrados na Figura 5 que segue abaixo.

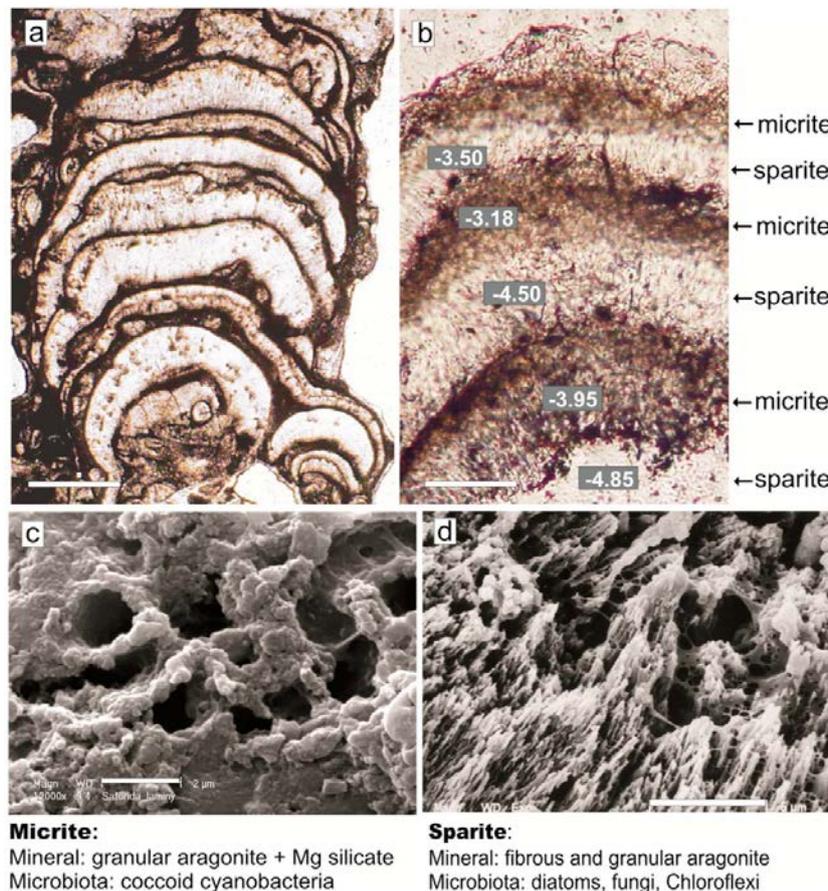


Figura 5: Subfóssil Microestromatólito do *Satonda Crater Lake* (Indonésia Central) interpretado como o produto de uma esteira de cianobactérias cocóides de várias camadas análogo ao tapete de cianobactérias artificial estudado. (a) micrografia óptica de seção vertical fina petrográfica do estromatólito de Satonda mostrando uma alternância bem expressa de camadas micríticas e esparíticas. (b) Ampliação de uma série de camadas alternadas entre micrita e esparita com indicação das assinaturas isotópicas de carbono estável ($\delta^{13}\text{C}$ vs. PDB). (c) e (d) Imagens em microscopia eletrônica de cortes verticais de camadas polidas e com ácido fórmico impregnado a 5%, tanto micríticas, em (c), e esparíticas em (d); observe o bem-preservada, devido à mineralização *in vivo*, padrão das bainhas de mucilagem comuns (glicocálice) na camada micritic, e os restos quase totalmente degradadas de bainhas de mucilagem na camada sparitic. Barras de escala: (a) 500 μm , (b) de 200 μm , (c) 2 μm , (d) 5 μm .

Fonte: Kaźmierczak *et al.* (2015).

Na figura acima, podemos ver uma aplicação direta da técnica de datação isotópica para o caso do ^{13}C , onde o termo $\delta^{13}\text{C}$ que aparece na legenda expressa a diferença, em partes por mil, relativa a um padrão, isto é, de uma amostra tomada como referência, neste caso PDB (de *Pee Dee Belemnite*).

5. Conclusão

Nesta aula estudamos as interconexões existentes e percebidas entre estruturas minerais presentes na Terra e processos ligados a atividade biológica, seja a atuação dessa atividade sobre a atmosfera ou sobre a crosta terrestre.

6. BIBLIOGRAFIA

- Catling, D. em *I AstroBioON*, Planetary Atmospheres and Habitability, 2014.
- Catling, D. em *I AstroBioON*, Detecting inhabited worlds, 2014.
- M.T. Rosing et al.; *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 2006, 232, 99.
- N.R. Posth et al.; *Chemical Geology* 2013, 362, 66.
- <http://www.britannica.com/science/fossil>; acessado em agosto de 2015.
- J. Kaźmierczak et al., *Life* 2015, 5, 744.