



**VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS
DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)**

**Travel to the Dawn of Life in the Mines
of Fragas do Cavallo (Oleiros)**

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues



Vila Velha de Ródão, 2012

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO ¹

Travel to the Dawn of Life in the Mines of Fragas do Cavallo (Oleiros)

Carlos Neto de Carvalho^{2,3,4} & Joana Rodrigues³

Palavras-chave

Minas das Fragas do Cavallo, estromatólitos de ferro, eucariotas, evolução da vida, potencial turístico, recurso educativo, Geopark Naturtejo, Oleiros

Key words

Fragas do Cavallo Mines, iron stromatolites, eukaryotes, evolution of complex life, tourism potential, educational resource, Naturtejo Geopark, Oleiros

¹ Na capa uma perspectiva da antiga exploração mineira nas vertentes escarpadas da Ribeira do Cavallo. As escombrelas ruivas pela presença abundante de ferro em vários estádios de oxidação são coroadas pelo que resta do desmonte do filão de quartzo leitoso que continha as mineralizações de volfrâmio.

² Câmara Municipal de Idanha-a-Nova - Centro Cultural Raiano.

³ Geopark Naturtejo da Meseta Meridional – Geoparque Europeu e Global sob os auspícios da UNESCO.

⁴ Associação de Estudos do Alto Tejo.

Resumo

Comunidades eucarióticas microbianas dominadas por *Euglena mutabilis* estão a construir estromatólitos de ferro em ambientes de drenagem ácida nas Minas das Fragas do Cavallo. Estas formas de vida dependentes da dissolução do ferro e tolerantes a metais pesados e elevada acidez abrem uma janela para a compreensão da origem e evolução da vida complexa no Planeta Terra, constituindo uma hipótese de trabalho para os cientistas que actualmente buscam a existência de vida em outros planetas, como em Marte. No aspecto da evolução biológica, como da história mineira e da geologia regional, as Minas das Fragas do Cavallo tornam-se um recurso educativo fundamental no concelho de Oleiros, com potencial de utilização pelas escolas e operadores turísticos da região. Estes valores podem complementar uma estratégia de valorização da identidade cultural, material e imaterial, do concelho de Oleiros, através da constituição de um ecomuseu descentralizado e polinucleado – o Museu da Montanha.

Abstract

Microbial eukaryote communities dominated by *Euglena mutabilis* are building iron stromatolites in acid drainage environments at Fragas do

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

Cavalo Mines. Such life forms dependent on iron oxidation and tolerant to heavy metals and very low pH open a window for understanding the origin and evolution of complex life in the Planet Earth and constitute a working hypothesis for scientists now looking for traces of the existence of life in other planets, such in Mars. In evolutionary biology, as in mining history and regional geology, Fragas do Cavalo Mines may have conditions to become a priceless educational resource for the Oleiros municipality, to be used both by schools and tour operators from the region. This resource might complement a strategy to value the cultural identity, both tangible and intangible, of Oleiros, through the constitution of a decentralized and multi-housed ecomuseum – the Mountain Museum.

1. Património Geomineiro de Oleiros: diálogos do volfrâmio numa estratégia de valorização da identidade local

As paisagens das Minas das Fragas do Cavalo, localizadas na freguesia de Oleiros próximo do lugar de Coval Seixoso, onde hoje só existem galerias e poços abandonados, restos de máquinas e de ferramentas esquecidas, edifícios arruinados e “ferroeiras” estéreis encerram as “Memórias do Volfrâmio” bem vivas nos rostos e nas mentes dos protagonistas da exploração mineira da região (Neto de Carvalho *et al.*, 2012a; Fig. 1). Alguns

dos operários-camponeses e guardiões presentes destas “memórias” viveram o ressurgimento das Minas das Fragas do Cavalo sob gestão da empresa J. Costa & Martins, Lda., o período de clímax nas cotações do volfrâmio durante a II Guerra Mundial e a euforia da “candonga”, a Lei de Salazar que paralisou a exploração mineira e comércio do metal em 1944, e a última corrida ao “ouro negro” no início da Guerra Fria. Outros existem que permanecem anónimos, mas que poderão em breve vir também a dar o seu contributo para a valorização do Património Geomineiro de Oleiros, que se constitui por minas e práticas mineiras, saber-fazer e modos de vida, de um período na História Universal Contemporânea, importante ainda que efémero (Neto de Carvalho *et al.*, 2012a). Para a valorização deste património, nesta primeira fase, desenvolveu-se um trabalho de reconhecimento e investigação do património material e imaterial, uma exposição temporária “Património Geomineiro de Oleiros” (Neto de Carvalho *et al.*, 2012a,c) e um documentário “Ouro negro: a outra face” que envolveu antigos mineiros, comunidade e turistas, e que culminou com uma visita temática às galerias da mina, após mais de 60 anos de esquecimentos (Neto de Carvalho *et al.* 2006; Neto de Carvalho *et al.*, 2012a).

A Rota das Montanhas de Oleiros foi estabelecida no concelho de Oleiros incluído no Geopark Naturtejo da Meseta Meridional, sob os auspícios da

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

UNESCO, constituindo-se como uma ferramenta turística organizadora e potenciadora da oferta turística local (Neto de Carvalho *et al.*, 2011, 2012b; Rodrigues *et al.*, 2011). A montanha é uma invasão da rotina com paisagens geológicas (geomonumentos) e mineiras (georrecurso), ecossistemas de montanha, especificidades culturais em aldeias tradicionais, produtos da terra (gastronomia e artesanato), bem como produtos tradicionais ou novos produtos inspirados no património geológico – geoprodutos. Esta é uma forma de organizar um sector económico dominado por micro- e pequenas empresas de base familiar, para torná-lo mais competitivo através da complementaridade da oferta turística e sua promoção integrada e inclusiva na Região Centro (Rodrigues *et al.*, 2011; Neto de Carvalho *et al.*, 2012b).

O presente trabalho é mais um contributo para a valorização das Minas das Fragas do Cavallo. Recentemente foram descobertos estromatólitos de ferro, constituídos por formas de vida ancestrais, verdadeiros fósseis vivos, que florescem nos ambientes de extrema acidez que se encontram no interior e à boca das galerias inundadas. Estas formas de vida dependentes da dissolução do ferro abrem uma janela para a compreensão da origem e evolução da vida complexa no Planeta Terra e constituem uma hipótese de trabalho para os cientistas que actualmente buscam a existência de vida em outros planetas, como em Marte. No aspecto da evolução biológica, como

da história mineira e da geologia regional, as Minas das Fragas do Cavallo tornam-se um recurso educativo fundamental no concelho de Oleiros, com potencial de utilização pelas escolas da região, mas também pelos operadores turísticos que buscam uma oferta estruturada e diferenciadora. Assim existam condições para salvaguardar este Património em risco de irremediável degradação.

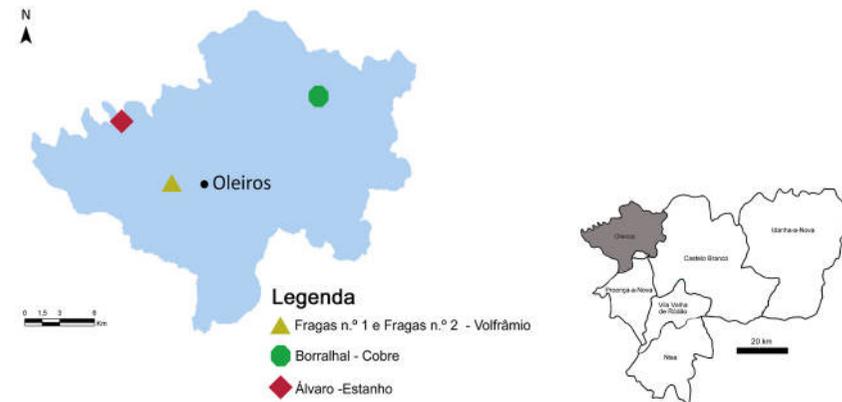


Figura 1. Localização do concelho de Oleiros no território do Geopark Naturtejo da Meseta Meridional, com indicação das concessões mineiras que ali laboraram (Neto de Carvalho *et al.*, 2012). O trabalho incide nas minas das Fragas da Ribeira do Cavallo (Fragas do Cavallo n.º 1 e n.º 2).

2. Enquadramento geológico das Minas das Fragas do Cavallo

Nos planos antigos da Meseta Meridional a perderem-se de vista para a Extremadura espanhola, delimitados pelos primeiros degraus que ascendem à Cordilheira Central ibérica, e que se erguem pelas grandes falhas do Ponsul e de Sobreira Formosa, situa-se o Geopark Naturtejo – Global Geopark reconhecido pela UNESCO.

A paisagem de Oleiros, inserida na Cordilheira Central ibérica que cruza o geoparque a Noroeste, é marcada por montanhas xistentas fortemente recortadas por linhas de água encaixadas em vales profundos, como os surpreendentes Meandros do Rio Zêzere. Estas serranias metamorfiçadas são abruptamente cortadas pela Serra do Moradal, uma enorme e imponente “muralha” na paisagem, constituída essencialmente por quartzito, que a água também esculpiu, ainda que mais demoradamente pela elevada resistência à erosão desta rocha metamórfica, por exemplo nas Cascatas da Fraga da Água d’Alta ou na Garganta do Zêzere. O cume destas montanhas de quartzito e xisto de Oleiros, actualmente a cerca de 800 – 1084 m de altitude, já se situou no passado no fundo de oceano cheio de vida demonstrado pelos fósseis que aí ocorrem, revelando episódios da história do nosso Planeta nos últimos 600 milhões de anos.

Estas rochas, em especial o xisto, marcam a ocupação humana na região há milhares de anos, desde os antigos monumentos funerários (*tumulus*) e as lajes com Arte Rupestre que se descobrem no alto das serras (Caninas *et al.*, 2008), até às mais recentes e pitorescas aldeias com fachadas e muros de xisto. É neste contexto geológico que aparece nas Minas das Fragas e em outras regiões do concelho o volfrâmio, metal extraído da volframite, um mineral com a fórmula química $(Fe,Mn) WO_4$, que surge em filões de quartzo branco que cortam o xisto. A sua origem está associada a granitos com 310-280 milhões de anos, cristalizados nas profundezas da crosta terrestre e instalados nas proximidades como parece atestar o campo filoniano muito alterado que ocorre nos taludes da estrada de Oleiros para Álvaro. A procura deste metal, muito usado na produção de uma das ligas metálicas mais duras que se conhecem, foi oscilando consoante os contextos geopolíticos que a História foi atravessando no século passado. É frequente que, em associação à volframite, apareça cassiterite (um minério de estanho) nos filões de quartzo, e na região, em Álvaro, este minério foi explorado nas areias do rio Zêzere, após o desmantelamento dos filões pelos agentes erosivos, o transporte dos materiais pelas águas e sua acumulação no leito do rio. O estanho sempre foi usado em ligas metálicas e em soldas, sendo muito importante em Portugal para a indústria das conservas. Na

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

freguesia de Vilar Barroco foi explorado ainda um outro mineral no mesmo contexto geológico e de elevada importância extratógica mundial, ainda hoje com peso na balança das exportações portuguesas, a calcopirite, para a extracção de cobre, nas Minas do Borrhalal.



Figura 2. Imagem Google earth@ com a localização das Minas nas duas margens alcantiladas do Ribeiro do Cavallo.

Hoje em dia ainda são impressionantes os trabalhos desenvolvidos ao longo das duas grandes encostas do Ribeiro do Cavallo, uma delas com mais de 160 m de desnível, mostrando numerosas galerias distancia-

das verticalmente de 20 metros em comunicação por chaminés verticais distanciadas de 30 metros, destinadas à ventilação e ao reconhecimento do jazigo entre dois pisos (Fig. 2). Assim, a lavra foi realizada pelo conhecido processo de “degraus invertidos”, aquele de maior aproveitamento para jazigos de pequena possança e elevada riqueza. Segundo este processo de lavra, o filão era desmontado da base para o topo, com uma inclinação entre 37° e 55° para nordeste; existia uma pré-selecção do minério no local, utilizando-se o estéril para preencher parcialmente os vazios deixados pelo desmonte do filão. As bocas das galerias são assinaladas na paisagem por grandes “ferreiras” de xisto e quartzo, que se desenvolvem em “pisos” ou terraços abertos na rocha.

O minério de volfrâmio ainda hoje aparece disperso na ganga ou em bolsas de ferberite (a variedade de volframite de ferro que aqui ocorre) em dois filões principais, de baixa possança, com não mais de 65 cm de espessura cada, distanciados cerca de 30m. A fragilidade do subsolo nas galerias de desmonte era compensada com o escoramento em pinho e rochas arrancadas do interior da terra, entivação que ainda mantém algumas galerias desobstruídas. A comunicação com estas galerias fazia-se por galerias travessas perpendiculares a estas. As galerias apresentam a típica secção trapezoidal, com 80cm de largura na parte superior, 1,2m na parte inferior

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

e 2m de altura. A existência de muitos filonetes mineralizados à superfície, de 4 a 10 cm de espessura, ainda hoje visíveis (Fig. 3), dita que parte do desmonte passe a ser feito também a céu aberto a partir de 1939, como o demonstra a existência de longa trincheira paralela à vertente em degraus direitos. No outro lado do barranco situa-se o que resta da oficina de preparação mecânica, escritório da mina e casa dos patrões que, decorrente do caos que se seguiu à Revolução de Abril, foram queimados e saqueados, mas que ainda demonstram bem a importância das minas e as técnicas empregues na sua exploração. As minas da margem esquerda chegaram a estar ligadas à oficina através de um teleférico accionado por possante motor. O minério explorado na margem direita chegava à oficina em caixas transportadas à mão. O minério era triturado e moído em grandes trituradores mecânicos; o apuramento do minério fino fazia-se por lavagem e separação hidrogravimétrica, inicialmente feita em “cales” dispostas junto à ribeira, mais tarde substituídos por “jigs”, aqui conhecidos como “jigos”. O concentrado era tratado quimicamente e aquecido no forno para separação dos óxidos e sulfuretos de ferro. Inicialmente o trabalho de desmonte do filão fazia-se com recurso a barrena e martelo, para a instalação da dinamite. A introdução de martelos pneumáticos sem aspersão de água aumentou a incidência de problemas respiratórios entre marteleiros, safreiros e

ajudantes. A canalização para o ar comprimido ainda se observa no interior das galerias, distribuída entre os vários níveis.



Figura 3. Filão de quartzo mineralizado com sulfuretos de ferro, arsénio e cobre, mostrando grandes cristais de ferberite (volframite de ferro); martelo como escala.

3. Enquadramento histórico das Minas

Nos seis municípios que constituem o Geopark Naturtejo, Castelo Branco, Idanha-a-Nova, Nisa, Oleiros, Proença-a-Nova e Vila Velha de Ródão

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

existiram 27 concessões formais para a exploração de volfrâmio entre 1901 e o final dos anos 60, tendo havido durante a Segunda Guerra Mundial uma grande proliferação de explorações ilegais numa zona de fronteira que era cobiçada pelos Alemães e que procurava ser controlada pelos Aliados. A descoberta de “mina de ferro e outros minerais” no sítio das Fragas do Cavalo, a 7km da vila de Oleiros, foi feita por João Antunes em 28 de Abril de 1910. Um ano depois, todos os direitos são concedidos a João Cardoso, farmacêutico de Cardigos. As duas concessões existentes, Fragas nº 1 e Fragas nº 2 (a última registada a 23/01/1916) laboraram efectivamente entre 1916 e 1921, cruzando-se a sua história com a das grandes minas da Panasqueira. Mas a partir de Abril de 1921, a lavra foi suspensa por falta de trabalhadores, baixa cotação do volfrâmio e consequente baixa procura, sendo o reflexo da grande crise económica mundial posterior ao final da Primeira Guerra Mundial. No entanto, a 3 de Dezembro de 1934, os herdeiros Cardoso transmitem os direitos de concessão à empresa J. Costa & Martins, Lda., com sede em Lisboa, por 10000\$00. Os sócios Joaquim Moraes Alves Costa e David Martins Pinheiro retomam os trabalhos em 1939, com a “febre do ouro negro” que varreu todo o Interior Norte e Centro do país (Fig. 4). Por pressão das forças aliadas, Salazar é obrigado a decretar o encerramento temporário das minas de volfrâmio em Portugal,

que paralisaram as Minas das Fragas a 25 de Julho de 1944. Na época, a razão invocada pela empresa parece relacionar-se com o impacte ambiental das “águas vermelhas”, ácidas e com elevada percentagem de metais pesados extremamente venenosos, como o arsénio, provenientes das minas que eram despejadas na Ribeira do Cavalo sem qualquer processo de tratamento prévio. Muitos agricultores das propriedades a jusante das minas ter-se-ão queixado de grandes perdas de colheitas e animais. Os trabalhos deverão ter sido retomados em 1947, na altura em que a Lei imposta por Salazar foi levantada. Seguiu-se um novo período de prosperidade para as Minas das Fragas do Cavalo, que levaram à sua mecanização. Com os preços do volfrâmio em queda livre nos mercados internacionais, os trabalhos pararam de vez em 1957, porque as seguradoras se recusaram a fazer seguro ao pessoal em virtude do flagelo da silicose, doença que vitimou um número indeterminado de mineiros desta época, em todo o país. Nas Minas das Fragas do Cavalo, o litígio com os mineiros deu-se entre 1956 e 1957 e foi muito falado, levando à dispensa do pessoal de forma legal. Em 1982, Joaquim Costa era o único sócio ainda vivo e contava então com 80 anos de idade, quando pede o abandono das concessões por inviabilidade da empresa, falta de conhecimentos e idade avançada. As concessões de Fragas nº 1 e Fragas nº 2 são definitivamente extintas a 1 de Julho de 1992,

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

com a alteração da legislação mineira em Portugal.



Figura 4. A sucessão de galerias na margem direita do Ribeiro do Cavalo com as escombrelas à boca da mina evidenciado vários tons resultantes das várias proporções de ferro nas mineralizações, em diferentes estados de oxidação. O coroamento esbranquiçado das escombrelas resulta do desmonte dos filões de quartzo.

4. A descoberta de formas “especiais” de vida nas águas ácidas de drenagem das Fragas do Cavalo

As águas ácidas são produzidas por oxidação dos minerais sulfuretos

expostos à atmosfera. O efluente resultante mostra elevadas concentrações de ferro, alumínio, sulfatos, cobre, arsénio, que são altamente tóxicos para a maioria dos organismos aquáticos. No entanto, estudos recentes mostram que na zona das Minas das Fragas do Cavalo ocorrem plantas que são tolerantes à contaminação por metais pesados, casos da Urze vermelha, Queiró, as folhas e ramos de Medronheiro, Mato-branco, Sargaço e a Carqueija para o arsénio e volfrâmio, e o Mato-branco para o cobre (Pratas *et al.*, 2012). Estas espécies, por acumularem metais tóxicos, podem contribuir para a recuperação ambiental da zona (Pratas *et al.*, 2012).

De um ponto de vista ecológico, a drenagem ácida de uma mina corresponde a um ambiente extremo para o desenvolvimento de vida: valores de acidez muito baixos, elevada solubilidade de metais, presença de colóides de ferro que provocam turbidez nas águas e deficiência em carbono inorgânico e fósforo (Valente & Gomes, 2007). Assim, constituem ambientes carregados de metais pesados tóxicos. No entanto, o elemento Ferro é indispensável à vida.

Nas Minas das Fragas do Cavalo foram recentemente encontradas formas de vida na dependência directa destas águas de escorrência “venenosas”, sejam associadas a infiltrações nos hastiais ou a galerias inundadas (Fig. 5). Constituem estruturas organossedimentares laminadas, compostas

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

sobretudo por ferro aprisionado em películas orgânicas viscosas que cobrem superfícies - biofilmes. Uma secção vertical mostra a arquitectura em terraços que é típica das actividades metabólicas de colónias bacterianas. Observam-se biofilmes de eucariotas acidófilos e fungos filamentosos a cobrir estas estruturas bio-edificadas de ferro. A formação dos terraços altera a dinâmica de fluxo criando piscinas onde se acumulam sedimentos químicos e matéria orgânica. Nutrientes essenciais estão assim acessíveis para as comunidades microbianas (Brake & Hasiotis, 2010; Fig. 5a)

E. mutabilis é o microorganismo dominante nos tapetes verde-intenso (biofilmes) que se encontram nas zonas de escorrência ácida (Brake *et al.*, 2002), com elevadas concentrações de ferro dissolvido (Brake *et al.* 2001; Fig. 5). Estes organismos são em grande parte responsáveis pela formação dos edifícios estromatolíticos, pois acumulam no interior da célula compostos de ferro dissolvidos no efluente ácido como precipitados, que são libertados após a sua morte, ao mesmo tempo produzindo oxigénio via fotossíntese que facilita a precipitação de ferro férrico. O excesso de oxigénio não consumido na precipitação do ferro é libertado para a atmosfera, formando pequenas bolhas (Brake *et al.* 2002). Em meio natural, *E. mutabilis* ocorre em águas ácidas ricas em metais, de que são exemplos as turfeiras.

Os estromatólitos são comunidades microbianas complexas que colonizam



Figura 5. Estromatólitos e biofilmes associados à precipitação de ferro dissolvido no interior das galerias. a – Estromatólitos formando terraços compostos por biofilmes de *E. mutabilis* em colónias pouco densas, que se tornam mais densas (adquirindo uma cor verde) à

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

medida que o efluente se aproxima da boca da mina. b. Hidróxidos de alumínio coloidal que floclaram e assentaram no fundo do canal de escorrência da galeria, formando uma camada clara de precipitados de alumínio que cobrem os biofilmes no período das chuvas. c – Os biofilmes são ainda responsáveis pela formação de estalactites de crescimento rápido, algumas como estas atingindo dimensões de decímetros, associada a infiltrações nos hastiais da galeria. d – Pormenor da película viscosa do biofilme responsável pela formação dos espeleotemas.

superfícies, resultantes da captura e agregação de partículas sedimentares, ou precipitação de minerais, numa matriz extracelular (mucilagem) produzida pelos organismos individualmente (Krumbein, 1994). Esta mucilagem assegura a aderência das células à superfície de uma partícula sedimentar, estabelecendo a coesão de toda a comunidade face a agentes erosivos e permitindo o movimento das células individuais no interior da colónia (Brake *et al.*, 2002). Desta forma, a matriz facilita a eficiência das actividades microbianas, defendendo-a ao mesmo tempo de condições adversas (variações físico-químicas abruptas, nomeadamente presença de metais tóxicos ou protecção contra desidratação), criando um microambiente onde as condições químicas e físicas são reguladas em benefício da comunidade (Decho, 2000; Fig. 6a-c). Normalmente, os estromatólitos formam estruturas edificadas mais ou menos complexas. Estas estruturas biogénicas são caracterizadas por variações significativas dos gradientes químicos na área onde persistem, e pela abundância de microorganismos fototróficos (dependentes da fotossíntese; Fig. 6d) e quimiotróficos (que

usam compostos inorgânicos reduzidos como fonte de energia), que se distribuem de um modo estratificado (Stolz, 2000). Nos estromatólitos de ferro poderá encontrar-se uma associação de microorganismos incluindo,

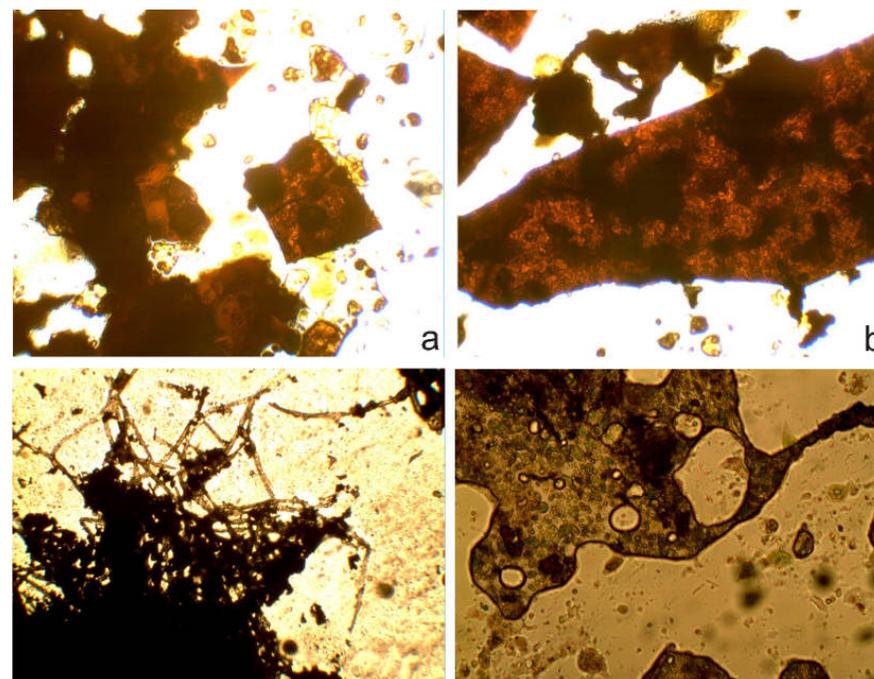


Figura 6. Microfotografias da estrutura dos biofilmes. a – Placas provenientes do biofilme fluante da Galeria Fundeira com nucleação de óxidos de ferro precipitados. b – Rede densa de filamentos que estrutura a mucilagem e que conferem elevada consistência ao biofilme. c - Pormenor da rede filamentososa que aprisiona os óxidos de ferro precipitados. d – À boca da mina, já no seu exterior, predominam os biofilmes compostos por organismos fotossintéticos. Ampliação de 100x, excepto C, de 400x.

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

para além de *E. mutabilis* e diatomáceas (eucariotas unicelulares fotossintéticos de parede celular siliciosa), fungos (hifas), algas filamentosas do tipo *Klebsormidium* (clorófitas), *Chlamydomonas* e bacilos gram-negativos (Brake *et al.*, 2002; Valente *et al.*, 2007; Fig. 6).

Os biofilmes resultantes destas comunidades são estruturas biológicas auto-organizadas. Mostram comportamento colectivo das células individuais. São dominados pela *Euglena mutabilis*, organismo bem adaptado a elevados teores de metais e elevada acidez (Brake *et al.*, 2004). A *Euglena mutabilis* pertence a um Reino próprio, o Euglenozoa, de organismos unicelulares eucariotas, em que a célula é provida de núcleo, como as células que constituem os animais. Esta célula está dotada de cloroplastos, como a das plantas, que lhe permite fazer a fotossíntese em condições anaeróbias (sem oxigénio presente), mas apresenta a curiosidade de possuir igualmente a possibilidade de assimilar partículas de matéria orgânica por fagocitose. Outra particularidade da *E. mutabilis* é o facto da sua superfície celular ser altamente hidrofóbica aos compostos solúveis de arsénio, encontrando-se bem adaptada à presença deste elemento tóxico (Halter *et al.*, 2012). Estes organismos vivem em ambientes ácidos com pH de 3,0 a 3,5 podendo tolerar pH tão baixos como 1,2 (Smart *et al.*, 2012).

O incremento da massa total da comunidade de *Euglena mutabilis* depende

da concentração de metais úteis e limitantes, quantidade e qualidade da luz disponível, grau de acidez do meio, concentração de oxigénio e do volume e escorrência do soluto de drenagem, que não pode ser reduzido ao ponto de limitar a vida microbiana nem excessivo, que resulta em turbidez nociva a seres fototróficos (Fig. 7). A actividade microbiana e seu crescimento são controlados ainda pela disponibilidade de carbono orgânico dissolvido (Stolz, 2000).

Estamos perante um ecossistema verdadeiramente extraordinário, onde todos os níveis tróficos (produtores primários, consumidores, decompositores) estão presentes (Stolz *et al.*, 1989; Stolz, 2000) em áreas limitadas pela descarga das águas ácidas. Este ecossistema encontra-se estratificado. Nos níveis superiores encontramos *E. mutabilis* com raros fungos, diatomáceas, *Chlamydomonas* e bacilos Gram-negativos; imediatamente por debaixo destas surgem as bactérias sulfurotróficas (Brake & Hasiotis, 2010; Fig. 8). A comunidade pode comunicar através de quimiotaxia, possibilitando a transmissão de informação sobre o ambiente envolvente e, assim, aumentar ou reduzir a taxa de crescimento em pontos determinados da colónia (Fig. 6b). A acreção de novos biofilmes sobre outros anteriormente desenvolvidos faz-se lentamente, como resultado da migração ascendente dos microorganismos da colónia por fototropismo e aerotropismo (sensibilidade

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

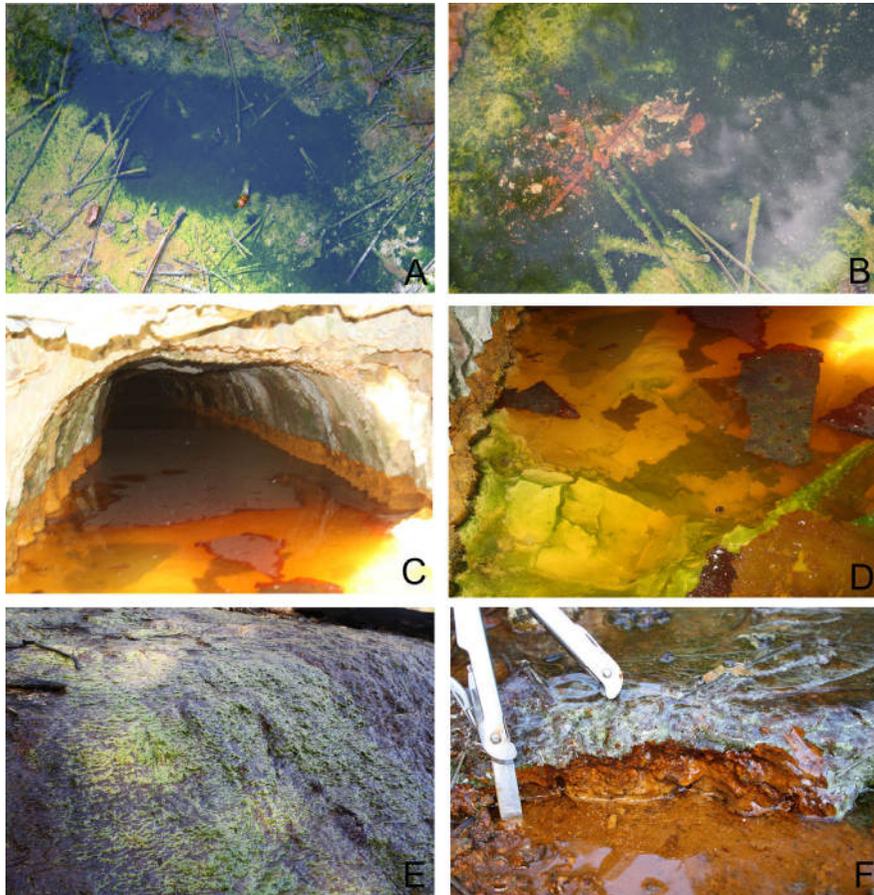


Figura 7. Biofilmes e estromatólitos dominados por *Euglena mutabilis*. A – Comunidade bentônica. B – Pormenor da foto anterior após o levantamento de parte do tapete microbi-

ano. C – Galeria Fundeira: a presença permanente de água acumulada no interior da galeria resulta na oxidação constante dos sulfuretos presentes nos hastiais da mina, que determinam uma elevada acidez; nestas condições prolifera uma comunidade flutuante, de cor avermelhada atendendo ao aprisionamento de óxidos de ferro no biofilme e à ausência de luz no interior da galeria que não possibilita a actividade dos organismos fotossintéticos. D – Na boca da mina a fragmentação do biofilme é acompanhado pela sua imersão e acumulação no fundo sob a forma de placas (*microbial chips*). E – Proliferação de organismos fotossintéticos na dependência das zonas de escorrência. F - Os estromatólitos de ferro são compostos por filmes muito finos de *E. mutabilis* em alternância com níveis mais espessos, porosos, compostos por precipitados de ferro sobre colónias de diatomáceas (organismos unicelulares de esqueleto silicioso). Estes níveis indicam mudanças episódicas do quimismo da água, permitindo que uma redução do pH da água por incremento do seu volume permita às diatomáceas dominar temporariamente e acumulem-se em poucas horas.

à perda de luz e redução do oxigénio disponível), à medida que se dá a sua cobertura por precipitados (Brake *et al.*, 2002). A laminação daí resultante pode registar alterações periódicas resultantes do caudal de escorrência/concentração de metais/taxa de sedimentação (Fig. 8).

O *Leptospirillum ferrooxidans* e o *Acidithiobacillus ferrooxidans*, bactérias sulfurotróficas, denunciam a sua provável presença nestes estromatólitos pois são responsáveis pela oxidação de minerais sulfuretos em ácido sulfúrico, na presença de água. A biolixiviação da pirite é bem patente abaixo do biofilme de *Euglena mutabilis*, em ambiente rico em oxigénio (Fig. 8d).

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues



Figura 8. Terraços de precipitados cobertos por biofilmes de *E. mutabilis* (verde esmeralda) e diatomáceas (verde azeitona) nas zonas de escorrência das águas ácidas. a – Formação dos terraços em talude. b e c – Pormenores da formação dos terraços à boca da mina. d – Comunidades de *E. mutabilis* e algas clorófitas densamente povoadas conseguem mascarar a cor ocre dos precipitados de ferro que formam uma crosta por baixo, por exposição directa à luz solar e proliferação da actividade fotossintética.

5. Implicações para o conhecimento da evolução da vida na Terra e em outros planetas

Os vestígios de vida mais antigos que se conhecem são microfósseis

encontrados em níveis de chertes intercalados com estromatólitos do Grupo Warrawoona, da Austrália Ocidental e datados de há 3500 milhões de anos (Shapiro, 2007). Os estromatólitos foram as únicas bio-construções existentes na Terra durante cerca de 2900 milhões de anos, libertando oxigénio para a atmosfera como produto do seu metabolismo e dando origem à Camada de Ozono que protege os organismos terrestres da radiação UV nociva à vida. Pela inexistência da Camada de Ozono na atmosfera primordial, a vida só poderá ter surgido em meio aquático ou no subsolo (Gross, 1994). Há 600 milhões de anos, estas formas de vida foram restringidas a ambientes hostis pelo advento e domínio da vida multicelular, sobretudo os animais (Horodyski & Knauth, 1994; Bottjer & Clapham, 2006). Recentemente foi demonstrado que *E. mutabilis* tem elevada tolerância a elevados níveis de raios UV (Smart *et al.*, 2012). Actualmente, os estromatólitos são estruturas de origem biológica muito raras na Terra. Os recifes estromatólíticos mais conhecidos encontram-se na remota Hamlin Pool, em Shark Bay, Austrália. Outras estruturas recifais do mesmo tipo foram identificadas nas Bahamas e no Brasil. Os estromatólitos actuais são construídos por um número limitado de microorganismos especializados. Tipicamente estas colónias crescem em substratos estáveis, com nula ou muito reduzida actividade de animais que aí vivem e se alimentam, e com um elevado índice nutricional,

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

sendo a sua taxa de reprodução (e por consequência, de incremento do edifício estromatolítico) limitado pela variação espacial das concentrações de nutrientes disponíveis para os microorganismos, por parâmetros físico-químicos do ambiente e pela bioturbação.

Os estromatólitos de ferro que resultam da drenagem ácida das Minas das Fragas do Cavallo correspondem a análogos modernos de algumas das mais antigas comunidades microbianas que surgiram na Terra. Os fósseis mais antigos de eucariotas possuem 2100 milhões de anos e foram encontrados em Negaunee Iron Formation (*vide* Brake & Hasiotis, 2010). Os Euglenozoa encontram-se localizados próximos da base da evolução dos eucariotas e entre os primeiros organismos a possuir mitocôndria (Smart *et al.*, 2012). A evolução das células com mitocôndrias, por simbiose, terá ocorrido há 2300 milhões de anos (Hedges *et al.* 2006). A *Euglena* possui cloroplastos e mitocôndrias, organelos celulares muito importantes para a produção primária de energia.

Conhecido pelo Grande Evento da Respiração, pensa-se que o factor-chave para o incremento da complexidade biológica se deu como resultado do aumento da concentração de oxigénio na atmosfera libertado pelas microorganismos capazes de produzir fotossíntese, como as cianobactérias fotossintéticas ou os Euglenozoa. No entanto, para *E. mutabilis* a mitocôndria

permitted produzir muito mais energia por respiração celular do que por glicólise (Hedges *et al.*, 2006), tornando-a muito bem sucedida do ponto de vista evolutivo, estando na base da evolução dos eucariotas, grupo de organismos que inclui o Homem.

A Paisagem Protegida de Rio Tinto, entre Badajoz e Huelva, apresenta características muito peculiares. Em plena Faixa Piritosa Ibérica, a área de Rio Tinto mostra actividade mineira com 5000 anos de história. As águas vermelhas e ácidas que lhe dão nome (Fig. 9) albergam grande diversidade de microorganismos e quase excluem na sua totalidade a presença de vida multicelular. Um dos seus habitantes mais famosos, o *Acidithiobacillus ferrooxidans* metaboliza o enxofre para oxidar o ferro, os dois principais constituintes das pirites (Brake & Hasiotis, 2010).

O Rio Tinto mostra a evidência de um ecossistema baseado no ciclo biogeoquímico do ferro (López-Archilla *et al.*, 2001; Amils, 2010). Os astrobiólogos do Centro de Astrobiologia de Madrid e da NASA estudam o ecossistema de Rio Tinto como um análogo das condições que existiram na Terra, e que poderão ter existido em Marte, para a origem da vida há milhares de milhões de anos (Amils, 2010). Sabe-se hoje, resultante das sondas enviadas para a superfície do Planeta Vermelho, que existe uma grande abundância de minerais de ferro (hidróxidos), como a jarosite, a

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

goethite e a hematite e que, por consequência, há 3500 milhões de anos havia água líquida constituindo oceanos ácidos. Nesta altura, as condições em ambos os planetas eram semelhantes e a vida pode ter sido originada em paralelo ou transmitida de um planeta para o outro por intermédio dos impactos meteoríticos (veja-se, como exemplo, Gross, 1994). Sendo um planeta mais pequeno, Marte perdeu a maior parte da sua atmosfera para o espaço ao longo do tempo. Mas em profundidade, no subsolo marciano, os seres quimiotróficos poderão ter alcançado condições de estabilidade e permanecido (Gross, 1994). Por analogia com o que se passa no subsolo do Planeta Terra, a actividade metabólica do ferro pode estar a dar-se hoje, em profundidade, por Archaea e bactérias quimioautotróficas. As descobertas apresentadas recentemente por Smart *et al.* (2012) em relação à adaptação de *E. mutabilis* a elevados níveis de raios UV tem importantes implicações para a evolução da vida e a oxigenação da atmosfera, em planetas que não tenham atmosfera que permita absorver raios UV, como o planeta Terra nos seus primórdios ou Marte actualmente. Sabe-se hoje que *E. mutabilis* mostra uma preferência por efluentes ricos num hidrossulfato de ferro conhecido como schwertmannite, um mineral também reconhecido nos solos de Marte pela sonda Pathfinder (Bishop, 1998).



Figura 9. Rio Tinto (a), um ecossistema único (b) e um análogo moderno das condições de vida em meios aquáticos como os que a Terra e Marte tiveram nos primeiros dois mil milhões de anos da sua existência. A uma escala mais pequena, as Minas das Fragas do Cavallo também oferecem excelentes condições para o estudo da origem e evolução da Vida.

6. Fragas do Cavallo: laboratório de educação ambiental e para a história de Portugal do séc. XX

Para a exploração da possibilidade de vida em outros planetas, como em Marte, os modelos estabelecidos baseiam-se na geoquímica, por comparação com o hidrotermalismo submarino e as águas ácidas das minas que existem hoje na Terra. As Minas, a sua história, as técnicas de exploração presentes e reconhecidas, a “memória” dos tempos do volfrâmio ainda bem viva, a mineralogia dos seus filões e hastiais e o seu ecossistema de extremófilos tornam as Fragas do Cavallo uma potencial atracção

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

turística e um laboratório de Educação Ambiental para a região de Oleiros. O seu potencial é passível de ser integrado nos conteúdos programáticos das disciplinas de Ciências Naturais, Geologia e Biologia, nomeadamente:

- **7º ano de Ciências Naturais** - “A Terra conta a sua história”, com ênfase nas Grandes Etapas da História da Terra e “Dinâmica Externa da Terra”, permitindo a exploração de alguns tipos de rocha e alguns minerais, assim como processos de geodinâmica externa.

- **8º ano de Ciências Naturais** - “Recursos naturais – utilização e consequências”, destacando-se as implicações da exploração mineira.

- **10º ano de Biologia e Geologia** - “Diversidade da Biosfera”, para exploração da célula como unidade de estrutura e função; “Obtenção de matéria – heterotrofia e autotrofia”, com abordagem de processos como fotossíntese ou digestão extracelular.

- **11º ano de Biologia e Geologia** - “Sistemática dos seres vivos”, destacando-se os Sistemas de Classificação, com exploração dos critérios inerentes aos sistemas de classificação; “Evolução Biológica”, destacando-se os conceitos de unicelularidade e pluricelularidade assim como o evolucionismo e o fixismo; “Exploração sustentada de recursos geológicos”, destacando-se as implicações económicas e ambientais da

exploração mineira.

- **12º ano de Biologia** – “Preservar e recuperar o meio ambiente”, com realce para a contaminação dos subsistemas terrestres – alteração da qualidade do ar.

- **12º ano de Geologia** – “A História da Terra e da Vida”, com exploração da Geohistória e da História Geológica da região; “A Terra ontem, hoje e amanhã”, abarcando o Homem como agente de mudanças ambientais.

Esta abordagem integradora e sustentável é a base de um projecto para a concretização de um ecomuseu polinucleado para o concelho de Oleiros, um equipamento que a região muito carece para a construção e valorização da sua identidade cultural, do seu património material e imaterial – O Museu da Montanha (Neto de Carvalho *et al.*, 2009). As Minas das Fragas do Cavallo conferem-se assim, pela sua importância, como mais um elemento passível de integrar o ecomuseu. Assim se possa fazer a sua salvaguarda e valorização.

Agradecimentos

O autor agradece aos colegas Inês Martins (Município de Oleiros) e Eddy Chambino (antropólogo do Município de Idanha-a-Nova) o entusiasmo e a partilha ao longo dos anos, que tem resultado no incremento do interesse pelo estudo regional das minas; ao Sr. Presidente da Câmara Municipal de Oleiros, o Comendador José Marques, bem como ao Vereador do mesmo Município, Sr. Vitor Antunes, todo o apoio que têm demonstrado ao longo dos anos ao estudo e valorização do Património Geológico e Geomineiro de Oleiros; à Layer – Design e Audiovisuais, nas pessoas dos colegas Ana Brás Dias e Nuno Dias (geólogos), pelo seu empenho na valorização da imagem das Minas das Fragas do Cavalo; ao Sr. José Dias e Sr.^a Aldina Barata pelo apoio e alegria com que nos recebem na Seladinha e à valorização do Património das Minas; a todos os antigos mineiros e trabalhadores das Minas das Fragas do Cavalo, pela partilha dos seus conhecimentos. Ao Centro Ciência Viva de Proença-a-Nova, pela disponibilização do laboratório e equipamentos.

Bibliografia

- Amils, R. (2010) Río Tinto...Viaje a Marte. Alfar, Sevilha.
- Avelãs Nunes, J.P. (2010) O Estado Novo e o Volfrâmio (1933-1947). Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Batata, C. (2006) Idade do Ferro e romanização entre os rios Zêzere, Tejo e Ocreza. *Trabalhos de Arqueologia*, nº46. Instituto Português de Arqueologia, Ministério da Cultura, Lisboa.
- Bishop, J.L. (1998) Biogenic catalysis of soil formation on Mars? *Origins of Life and evolution of Biospheres*, 28(4-6): 449-459.
- Bottjer, D.J. & Clapham, M.E. (2006) Evolutionary paleoecology of Ediacaran benthic marine animals. In: Xiao, S. & Kaufman, A.J. (Eds.), *Neoproterozoic Geobiology and Paleobiology*. Springer, Berlin: 199-229.
- Brake, S.S., Dannelly, H.K., Connor, K.A. & Hasiotis, S.T. (2001) Influence of water chemistry on the distribution of an acidophilic protozoan in an acid mine drainage system at the abandoned Green Valley coal mine, Indiana, USA. *Applied Geochemistry*, 16: 1641-1652.
- Brake, S.S., Hasiotis, S.T., Dannelly, H.K. & Connor, K.A. (2002) Eukaryotic stromatolite builders in acid mine drainage. Implications for Precambrian iron

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

formations and oxygenation of the atmosphere? *Geology*, 30(7): 599-602.

Brake, S.S., Hasiotis, S.T. & Dannelly, H.K. (2004) Diatoms in acid mine drainage and their role in the formation of iron-rich stromatolites. *Geomicrobiology Journal*, 21: 331-340.

Brake, S.S. & Hasiotis, S.T. (2010) Eukaryote-dominated biofilms and their significance in acidic environments. *Geomicrobiology Journal*, 27: 534-558.

Caninas, J.C., Sabrosa, A., Henriques, F.A.S., Monteiro, J.L., Carvalho, E., Batista, A., Chambino, M., Robles, F., Monteiro, M., Canha, A., Carvalho, L. & Germano, A. (2008) Tombs and Rock Carvings in the Serra Vermelha and Serra de Alvélos (Oleiros-Castelo Branco). In: Bueno-Ramirez, P., Barroso-Bermejo, R. & Balbín-Berhmann, R. (Eds.), *Graphical Markers and Megalith Builders in the International Tagus, Iberian Peninsula*. British Archaeological Reports International Series, Oxford: 89-116.

Decho, A.W. (2000) Exopolymer microdomains as a structuring agent for heterogeneity within microbial biofilms. In: Riding, R.E. & Awramik, S.M. (Eds.), *Microbial sediments*. Springer, Berlin: 9-15.

Gross, M. (1994) Life on the Edge – Amazing creatures thriving in extreme environments. *Perseus Books*, Cambridge.

Halter, D., Casiot, C., Heipieper, H.J., Plewniak, F., Marchal, M., Simon, S., Arsène-Ploetze, F. & Bertin, P.N. (2012) Surface properties and intracellular speciation revealed an original adaptive mechanism to arsenic in the acid mine drainage bio-indicator *Euglena mutabilis*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 93(4): 1735-1744.

Hedges, S.B., Battistuzzi, F.U. & Blair, J.E. (2006) Molecular timescale of Evolution in the Proterozoic. In: Xiao, S. & Kaufman, A.J. (Eds.), *Neoproterozoic Geobiology and Paleobiology*. Springer, Berlin: 199-229.

Horodyski, R.J. & Knauth, L.P. (1994) Life in land in the Precambrian. *Science*, 263: 494-498.

Krumbein W.E. (1994) The year of the slime. In: Krumbein, W.E., Paterson, D. & Stal, L.J. (Eds.), *Biostabilization of sediments*. Bibliotheks und Informationssystem der Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg: 1-7.

López-Archilla, A.I., Marin, I. & Amils, R. 2001. Microbial community composition and ecology of an acidic aquatic environment: the Tinto River, Spain. *Microbiological Ecology*, 41: 20-35.

Neto de Carvalho, C., Gouveia, J., Chambino, E. & Moreira, S. (2006) Geomining heritage in the Naturtejo area: inventory and tourist promotion. *Actas do 3º Simpósio sobre Mineração e Metalúrgia Históricas no Sudoeste*

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

Europeu, Porto: 595-606.

Neto de Carvalho, C., Baucon, A. & Fialho, J. (2009) Projecto António de Andrade: documentário e Museu de Montanha, de Oleiros para o mundo. In: Neto de Carvalho, C., Rodrigues, J. & Jacinto, A. (eds.), *Geotourism & Local Development*. Câmara Municipal de Idanha-a-Nova: 165-177.

Neto de Carvalho, C., Rodrigues, J., Martins, I. & Fernandes, F. (2011) The Mountain Tour: organizing tourism resources and offer at Naturtejo Geopark. In: Rangnes, K. (ed.), *Proceedings of the 10th European Geoparks Conference*. European Geoparks Network, Porsgrunn, Norway: 37.

Neto de Carvalho, C., Rodrigues, J. C. & Chambino, E. (2012a) Tempos de Volfrâmio em Oleiros. *Naturtejo, E.I.M. – Câmara Municipal de Oleiros*, 16 pp.

Neto de Carvalho, C., Rodrigues, J., Martins, I. & Fernandes, F. (2012b) The Mountains Tour: organizing tourism resources on offer in Naturtejo Geopark. *European Geoparks Magazine*, 9: 22.

Neto de Carvalho, C., Rodrigues, J.C., Chambino, E. & Martins, I. (2012c) “Património Geomineiro de Oleiros”: diálogos do volfrâmio numa estratégia de valorização da identidade local. *1as Jornadas sobre o Volfrâmio Europeu*, Livro de resumos. Ozecarus e Câmara Municipal da Pampilhosa da Serra: 1.

Pratas, J., Favas, P. & Conde, L. (2012) Espécies vegetais metalotolerantes e sua potencial utilização na prospeção biogeoquímica e recuperação ambiental (Minas de Fragas do Cavallo, Oleiros, Portugal Central). In: Henriques, M.H., Andrade, A.I., Lopes, F.C., Pena dos Reis, R., Quinta-Ferreira, M. & Barata, M.T. (eds.), *I Congresso Internacional Geociências na CPLP: 240 anos de Geociências na CPLP*, Coimbra. Centro de Geociências e Centro de Geofísica da Universidade de Coimbra: 250.

Rodrigues, J., Neto de Carvalho, C., Martins, I. & Fernandes, F. (2011) La Ruta de las Montañas de Oleiros (Geopark Naturtejo), una herramienta geoturística al servicio del desarrollo local. *II Congreso Nacional Geoturismo, Yaracuy, Venezuela*: 1.

Shapiro, R. (2007) Stromatolites: A 2.5-Billion-Year Ichnological Record. In: Miller III, W. (Ed.), *Trace Fossils, concepts, problems, prospects*, Elsevier, Amsterdam: 382-390.

Smart, S.M., Burck, K.R., Brake, S.S. & Hasiotis, S.T. 2012. Extreme ultraviolet light tolerance by the stromatolite-building eukaryote *Euglena mutabilis*. *GSA Annual Meeting*, Charlotte.

Stolz, J.F., Botkin, D.B. & Dastoor, M.N. (1989) The integral biosphere. In: Rambler, M.B., Margulis, L. & Fester, R. (Eds.), *Global ecology: towards a*

VIAGEM À ALVORADA DA VIDA NAS MINAS DAS FRAGAS DO CAVALO (OLEIROS)

Carlos Neto de Carvalho & Joana Rodrigues

science of the biosphere. Academic Press, San Diego: 31-50.

Stolz, J.F. (2000) Structure of microbial mats and biofilms. In: Riding, R.E. & Awramik, S.M. (Eds.), *Microbial sediments*. Springer, Berlin: 1-8.

Valente, T.M. & Gomes, C.L. 2007. The role of two acidophilic algae as ecological indicators of acid mine drainage sites. *Journal of Iberian Geology*, 33(2): 283-294.