

Breve História da Geologia Marinha

Fernando J.A.S. Barriga

Academia das Ciências de Lisboa, 17 Set 2020

A Geologia Marinha interessou desde sempre os melhores espíritos, podendo citar-se Estrabão, Leonardo da Vinci, Luís Teixeira, René Descartes, Nicolaus Steno, Gottfried Leibniz, Abraham Werner e Georges Cuvier como alguns dos principais autores de contribuições notáveis para o seu tempo, ainda que muito limitadas pela barreira à observação constituída pelo oceano, ainda hoje uma formidável dificuldade. Não obstante, alguns destes pensadores deixaram notáveis contribuições acerca da natureza dos fundos marinhos e sua dinâmica. Há cerca de 2000 anos já Estrabão defendia que as variações do nível de imersão/emersão das terras são devidas a movimentos (tectónicos) verticais das terras. Steno enunciou alguns dos princípios básicos, incluindo a origem marinha dos estratos contendo fósseis marinhos, a lei da sobreposição, e dos princípios de horizontalidade original e continuidade lateral dos estratos. Da Vinci é o autor da primeira estimativa de idade para a Terra baseada em observações; conforme me foi apontado por A. Ribeiro, Descartes defende um modelo evolutivo para a Terra que inclui uma versão primitiva de uma zona de subducção.

Cabe aqui sublinhar o papel pioneiro dos portugueses na época dos Descobrimentos, ao trabalharem de forma unificada geografia, geologia e geofísica, ficando demonstrado que os Descobrimentos resultaram de um esforço coordenado, técnico-científico, e não de uma mera aventura (Alvarez & Leitão, 2010). A título de exemplo, cita-se a carta de Luís Teixeira (c. 1585), que contém a representação das isógonas (linhas de igual declinação magnética) e que antecede, em mais de 100 anos, a carta com isógonas de 1701, até agora considerada a mais antiga (ver Gaspar & Leitão, 2018).

Em finais do sec. XVIII Werner propõe o Neptunismo, segundo o qual todas as rochas, incluindo granitos e basaltos, teriam precipitado ordenadamente a partir de um oceano primitivo universal (ideia antiga, baseada no Dilúvio). A crosta e o interior da Terra (incluindo o núcleo) derivariam deste “planeta aquoso”. A teoria jogava bem com dilúvio, e Werner era um orador convincente (e excelente mineralogista). Na base (Rochas Primitivas) estavam as rochas ígneas (excluindo basaltos) e metamórficas; seguiam-se (Rochas de Transição) as rochas detríticas e químicas; as Rochas Secundárias incluíam um leque variado de rochas fossilíferas, detríticas e químicas tais como arenitos, calcários, carvões e também basaltos, resultado de combustão no interior da Terra; finalmente teriam aparecido os sedimentos não consolidados. O reconhecimento do carácter vulcânico dos basaltos (e sua ocorrência, inter-estratificados com sedimentos) conduziu à queda do Neptunismo. Algumas rochas sedimentares, nomeadamente calcários, podem ser atribuídas a processos neptunistas.

Registam-se posteriormente teorias mais próximas das actualmente defendidas. Assim, a polémica entre catastrofistas (Georges Cuvier) e uniformitarianistas (James Hutton, Charles Lyell) persiste até meados do sec. XX. As chaves para esta teoria são (i) A Terra foi construída pelos mesmos processos que actuam hoje, lenta e gradualmente, com a mesma intensidade; (ii) Não há vestígio de um início, nem perspectivas de um fim. Hoje crê-se que a Terra (e o Oceano) evoluíram através de processos lentos e graduais pontuados por catástrofes de grande impacto na criação e destruição de estruturas geológicas e comunidades biológicas.

Enquanto a Geologia tem os seus primórdios na Mineralogia e nos Recursos Minerais, desde os primórdios da Humanidade, considera-se unanimemente que a Geologia Marinha, enquanto ramo da ciência, se inicia com a expedição do H.M.S. Challenger (1872-1876). Anteriormente existiam vagas noções da natureza dos fundos (lodosos, arenosos, rochosos) e que em alto mar predominam as grandes profundidades, inatingíveis pelos processos da época. A lista dos elementos coligidos pelo Challenger é impressionante. Em 362 estações ao longo de quase 70,000 milhas náuticas mediu-se e amostrou-se tudo o que a tecnologia da época permitiu, incluindo profundidade, amostragem do fundo, da água e da fauna, meteorologia e correntes. Os resultados foram publicados entre 1885 e 1895, em “50 grossos volumes”. Entre os principais resultados contam-se o da descoberta da Crista Média Atlântica, inexplicável durante um século, e detectada em parte pela análise das correntes; e ainda o primeiro mapa da composição dos fundos marinhos, incluindo extensíssimas áreas de lamas e areias de carapaças de *foraminifera* e *pteropoda* e, mais longe de terras emersas, argilas vermelhas e nódulos e crostas ferromanganesíferas, estes com grande valor económico. John Murray (1895) afirmou que “a expedição constituiu o maior avanço no conhecimento do nosso planeta desde as celebradas descobertas dos séculos XV e XVI”.

Em princípios do sec. XX assiste-se à criação dos principais institutos oceanográficos, inicialmente ligados à popularidade do Darwinismo, que expõem faunas actuais a latitudes diferentes das dos respectivos fósseis em terra, implicando alterações climáticas, e acabando com a ideia então vigente de que não existiria vida a mais de 800 metros de profundidade.

Duas inovações tecnológicas revolucionam, ainda no primeiro quartel do sec. XX, o estudo da crosta oceânica profunda: o sonar (para batimetria) e as sondagens em ambiente profundo. A estas junta-se o geomagnetismo, termo introduzido por Sidney Chapman em 1938. As expedições pioneiras são a do Meteor (Alemanha, sonar) e a do Albatross (Suécia, 1947-1948). A cartografia dos grandes fundos progride a passos largos, quando se entra na época da grande controvérsia causada pelas publicações do meteorologista Alfred Wegener (1912, 1915). Este autor, baseando-se no ajuste das linhas de costa atlânticas, defende a deriva continental, substituindo a teoria das pontes paleontológicas e a dos geossinclinais gerados por isostasia, lideradas pelo respeitadíssimo geólogo e mineralogista J.D. Dana em finais do sec. XIX. Não foi uma transição fácil, por várias razões, nomeadamente porque Wegener imaginava os continentes escavando o seu caminho no substrato mantélico (como a Jangada de

Pedra de Saramago) com propostas irrealistas de percursos e velocidades da deriva continental. Além disso, Wegener era um intruso nas geociências, e faltou-lhe, porque ainda não existia, conhecimento da natureza da crosta oceânica.

Em meados do sec. XX os estudos geomagnéticos tornaram-se determinantes para a aceitação da teoria da tectónica de placas, que se transformou num motor unificador das geociências. Salientam-se os trabalhos de Raff & Mason (1961), Hess (1962) e Vine & Mathews (1963). Paralelamente, na medida dos necessários avanços tecnológicos, avançaram os estudos sísmicos e as sondagens em mar profundo. No início dos anos de 1960, houve uma primeira tentativa para perfurar a crosta oceânica profunda até à descontinuidade de Mohorovicic, atingindo o manto. A primeira fase do projecto teve enorme sucesso, quer pelas realizações técnicas, incluindo a utilização, pela primeira vez, de posicionamento dinâmico, e pela profundidade atingida (cerca de 200 metros abaixo do fundo), 30 vezes superior ao recorde anterior) quer por a perfuração ter atingido a Camada 2 da crosta, demonstrando a sua composição basáltica. Segundo a National Academy of Sciences (2005) o projecto MOHOLE foi a resposta das geociências ao programa espacial. Existe um interessante registo literário desta expedição MOHOLE, da autoria de John Steinbeck (1961). Lamentavelmente, o projecto foi vítima de oposição política e científica, má gestão e gastos excessivos, tendo sido fechado em 1966. Contudo, a ideia não esmoreceu, pelos enormes benefícios científicos que trará. Faz parte dos objectivos da fase actual do IODP (International Ocean Discovery Program), que dispõe agora de um navio (o japonês Chikyu) com capacidade técnica e operacional para este ambicioso objectivo. Independentemente das dificuldades em realizar o “Mohole”, a importância das sondagens para obtenção de amostras geológicas, para os mais variados fins, ficou demonstrada. Em 1968 foi criado o DSDP (Deep Sea Drilling Project). Com os seus descendentes ODP e IODP são colectivamente designados por O Programa, e são considerados por muitos o maior esforço de geociências de sempre, sendo-lhes creditados numerosos avanços no conhecimento da crosta oceânica, incluindo evidências definitivas acerca da Tectónica de Placas e a identificação e caracterização quer da interface Cretácico/Paleogénico quer da cratera de Chicxulub, devidas ao impacto de um grande asteróide, considerado responsável pelas extinções em massa que incluíram todos os dinossáurios não avianos, há cerca de 66 Ma. Desde a sua adesão ao Programa, em 1998, 16 investigadores portugueses (ou ligados a Portugal) já participaram em missões do Programa. Segundo Smith et al., (2010) “A força do Programa e o seu contínuo sucesso resultam da constatação de que a perfuração científica dos oceanos fornece uma ferramenta única e poderosa para estudar os processos críticos, tanto da mudança a curto prazo como da evolução a longo prazo dos sistemas terrestres. Um registo da tectónica, clima, circulação oceânica e biota em mudança da Terra é preservado em depósitos sedimentares marinhos e nas rochas subterrâneas subjacentes. E porque os fundos marinhos são o local natural para a acumulação e preservação de materiais geológicos, estará preservado um registo contínuo destes processos”.

Em 2002, A. Ribeiro publicou um importante livro que constitui um avanço na exactidão da Tectónica de Placas: “Na tectónica de placas moles concluímos que as

placas podem sofrer deformação interna, uma ordem de magnitude abaixo da deformação através dos limites da placa, mas não negligenciável. Este facto tem consequências óbvias para o comportamento da placa ao longo do tempo e para o mecanismo de condução do movimento da placa. Afirmamos que a deformação intraplaca é maior nos interiores das placas oceânicas do que nos interiores continentais estáveis, uma visão que se opõe à tectónica de placas convencional.

A importância da Geologia Marinha aplicada é muito grande, em todas as vertentes, incluindo portanto mudanças climáticas, riscos naturais e recursos minerais. A influência do oceano no (1) aumento do CO₂ na atmosfera, (2) no aumento da temperatura global, (3) na diminuição do gelo polar, (4) na subida do nível do mar e (5) na acidificação do próprio oceano são os principais factores das mudanças climáticas; quanto a riscos, salientam-se os sismos destrutivos, muitos deles originados abaixo do fundo do mar, e os tsunamis. Quanto a recursos minerais nos fundos marinhos, o autor apresentou o tema na Academia há não muito tempo (Barriga, 2019), concluindo que a humanidade irá necessitar de extrair dos fundos marinhos minérios como nódulos e crostas ferromanganesíferos ricos em cobre, níquel e cobalto, e quantidades menores mas recuperáveis de muito outros metais, incluindo terras raras; sulfuretos maciços ricos em cobre, zinco, ouro e prata, entre outros. Durante as próximas décadas, continuaremos a necessitar de hidrocarbonetos, muitos serão extraídos dos fundos marinhos. Necessitaremos destes recursos, mas necessitamos igualmente de proteger o ecossistema marinho profundo. Não há que escolher entre ambiente e mineração, precisamos de ambos.

Salienta-se a Biosfera Profunda suboceânica, o conjunto de microorganismos que vive na porosidade dos sedimentos e fracturas das rochas da crosta oceânica profunda, cuja massa tem vindo a ser estimada em baixa, admitindo-se actualmente que constitua um pouco menos de 1% da biosfera terrestre total (Colwell and D'Hondt, 2013); mesmo assim cerca de 6 gigatoneladas de carbono contido (= $6 \cdot 10^{15}$ g). A biosfera profunda é constituída sobretudo por *Archea* e *Bacteria* extremófilas. São organismos quimiossintéticos que, juntamente com a fauna das fontes hidrotermais, recebem a quase totalidade da energia e nutrientes de que necessitam de fontes internas do planeta, em última análise da fissão nuclear, pouco ou nada dependendo da energia solar. Pode assim dizer-se que a vida na Terra depende de dois reactores nucleares, um de fusão (o Sol) e outro de fissão (a própria Terra).

A biosfera profunda constitui uma fonte de recursos naturais intimamente associados aos materiais geológicos dos fundos marinhos, com já numerosas aplicações, em vários domínios, incluindo amplificação de ADN, detergentes, cozinhar e fermentar, branqueamento de papel, comutadores ópticos e geradores eléctricos fotónicos, lipossomas transportadores de drogas, cosméticos, protectores de proteínas, ADN e células, alimentos saudáveis, suplementos dietéticos, corantes alimentares, rações para animais, biologia molecular e neve artificial (Gonçalves et al., 2015).

Foi assinada em 1982 a Convenção da Nações Unidas para o Direito do Mar (CNUDM) após duas décadas de árduas negociações. A CNUDM veio sobrepor ao

direito tradicional, assente na liberdade dos mares, um regime assente na divisão do espaço oceânico, outorgando aos países costeiros diversas *áreas de jurisdição nacional*, salientando-se a Zona Económica Exclusiva (ZEE) e a Zona de Extensão da Plataforma Continental (ZEPC). Foi igualmente criada a “Área”, cujos recursos minerais são definidos como "património comum da humanidade", sendo a gestão da sua exploração atribuída à Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos (ISA – *International Seabed Authority*) instituída pela Convenção. Enquanto a ZEE inclui os recursos da plataforma continental subjacente, os da massa de água e até os da atmosfera, a ZEPC abrange apenas os recursos vivos e não vivos incluídos permanentemente no solo e subsolo marinhos. A CNUDM implicou, provavelmente, a maior transferência de recursos da história humana. Em Portugal foi criada a Estrutura de Missão para o Alargamento da Plataforma Continental (EMEPC, ver <https://www.emepc.pt>) responsável pela proposta de alargamento da Plataforma de 2.400.000 km², os quais, adicionados aos 1.727.408 km² da ZEE, totalizam um valor cerca de 44 vezes superior ao da área emersa do país. Importa caracterizar, aproveitar e preservar esta vasta área, o que poderá ser a grande oportunidade de futuro para Portugal.

A Brief History of Marine Geology

Fernando J.A.S. Barriga

Lisbon Academy of Sciences, 17 Sep 2020

Marine Geology has always been of interest to the best spirits, such as Strabo, Leonardo da Vinci, Luís Teixeira, René Descartes, Nicolaus Steno, Gottfried Leibniz, Abraham Werner and Georges Cuvier, some of the main authors with notable contributions in their time, although limited by the barrier to observation constituted by the ocean, still a formidable difficulty today. Nevertheless, some of these thinkers left notable contributions about the nature of the seabed and its dynamics. About 2000 years ago, Strabo argued that the variations in the level of immersion/emersion of the land are due to vertical (tectonic) movements of the land. Steno enunciated some of the basic principles, including the marine origin of the strata containing marine fossils, the law of overlapping, and the principles of original horizontality and lateral continuity of strata. Da Vinci is the author of the first age estimate for the Earth based on observations; as A. Ribeiro pointed out to me, Descartes advocates an evolutionary model for the Earth that includes a primitive version of a subduction zone.

It is worth highlighting the pioneering role played by the Portuguese in the time of the Discoveries, as they unified geography, geology and geophysics, demonstrating that the Discoveries were the result of a coordinated, technical-scientific effort and not a mere adventure (Alvarez & Leitão, 2010). As an example, one can cite the letter of Luís Teixeira (c. 1585), which contains the representation of isogons (lines of equal magnetic declination) and which precedes, by more than 100 years, the chart with isogons of 1701, until now considered the oldest (see Gaspar & Leitão, 2018).

At the end of the 18th century Werner proposed Neptunism, according to which all rocks, including granites and basalt, would have precipitated orderly from a universal primitive ocean (ancient idea, based on the Flood). The crust and interior of the Earth (including the nucleus) would have derived from this "watery planet". The theory played well with the Flood, and Werner was a convincing speaker (and excellent mineralogist). At the base (Primitive Rocks) were the igneous rocks (excluding basalt) and metamorphic rocks; there followed (Transition Rocks) the detrital and chemical rocks; the Secondary Rocks included a varied range of fossiliferous, detrital and chemical rocks such as sandstones, limestone, coals and also basalt, the result of combustion in the interior of the Earth; finally unconsolidated sediments would have appeared. The recognition of the volcanic character of basalts (and their occurrence, interstratified with sediments) led to the fall of Neptunism. Some sedimentary rocks, namely limestone, can be attributed to Neptunist processes.

There are later theories closer to those currently defended. Thus, the controversy between catastrophists (Georges Cuvier) and uniformitarianists (James Hutton, Charles Lyell) persists until the middle of the 20th century. The keys to this theory are (i) The Earth was built by the same processes that act today, slowly and gradually, with the same intensity; (ii) There is no trace of a beginning, nor prospects of an end. Today it is believed that the Earth (and the Ocean) have evolved through slow and gradual processes punctuated by catastrophes of great impact in the creation and destruction of geological structures and biological communities.

While Geology roots itself in Mineralogy and Mineral Resources, since the dawn of Humanity, it is unanimously considered that Marine Geology, as a branch of science, begins with the expedition of H.M.S. Challenger (1872-1876). Previously there were vague notions of the nature of the bottoms (muddy, sandy, rocky) and that in high seas predominate the great depths, unattainable by the processes of the time. The list of elements collected by the Challenger is impressive. In 362 stations along almost 70,000 nautical miles, everything that the technology of the time allowed was measured and sampled, including depth, sampling of the bottom, water and fauna, meteorology and currents. The results were published between 1885 and 1895, in "50 volumes thick as family bibles". Among the main results were the discovery of the Mid Atlantic Ridge, inexplicable for a century, and detected in part by the analysis of currents; and also the first map of the composition of the seabed, including extensive areas of foraminifera and pteropoda carapace mud and sands, and further away from emerged land, red clays and ferromanganiferous nodules and crusts, these with great economic value. John Murray (1895) stated that "the expedition constituted the greatest advance in the knowledge of our planet since the celebrated discoveries of the XV and XVI centuries".

At the beginning of the 20th century we saw the creation of the main oceanographic institutes, initially linked to the popularity of Darwinism, which expose current faunas to latitudes different from their fossils on land, implying climate change, and proving wrong the idea then accepted that there would be no life at depths greater than 800 meters.

Two technological innovations revolutionize the study of the deep oceanic crust in the first quarter of the 20th century: sonar (for bathymetry) and deep sea drilling. Geomagnetism, a term introduced by Sydney Chapman in 1938, enters the game slightly later. The pioneering expeditions are the Meteor (Germany, sonar) and the Albatross (Sweden, 1947-1948). The cartography of the great depths is progressing at a great pace, when the great controversy caused by the publications of the meteorologist Alfred Wegener (1912, 1915) becomes important. This author, based on the adjustment of the Atlantic coastlines, defends continental drift, replacing the theory of palaeontological bridges and that of geosinclines generated by isostasis, led by the highly respected geologist and mineralogist J.D. Dana at the end of the 19th century. It was not an easy transition, for several reasons, namely because Wegener imagined the continents digging their way into the mantle substrate (like the Saramago Stone Raft) with unrealistic proposals of routes and speeds of continental drift. Moreover, Wegener was an intruder in the geosciences, and lacked knowledge of the nature of the oceanic crust, because it did not yet exist.

In the middle of the 20th century geomagnetic studies became determinant for the acceptance of plate tectonics theory, which became a unifying engine of the geosciences. Among others, Raff & Mason (1961), Hess (1962) and Vine & Mathews (1963) were fundamental for the acceptance of the theory. At the same time, seismic studies and deep-sea drilling advanced to the extent made possible by the necessary technological advances. In the early 1960s, there was a first attempt to drill into the deep oceanic crust until Mohorovic's discontinuity, reaching the mantle. The first phase of the project was extremely successful, both because of the technical achievements, including the use, for the first time, of dynamic positioning, and because of the depth reached (about 200 meters below the sea floor, 30 times more than the previous record) and because the drilling had reached Layer 2 of the crust, demonstrating its basaltic composition. According to the National Academy of Sciences (2005) the MOHOLE project was the geosciences response to the space program. There is an interesting literary record of this MOHOLE expedition by John Steinbeck (1961). Unfortunately, the project fell victim to political and scientific opposition, mismanagement and excessive spending and was closed in 1966. However, the idea has not waned, because of the enormous scientific benefits it will bring. It is part of the objectives of the current phase of IODP (International Ocean Discovery Program), which now has a ship (the Japanese Chikyu) with technical and operational capacity for this ambitious objective. Regardless of the difficulties in carrying out "Mohole", the importance of drilling surveys to obtain geological samples for a vast array of purposes has been demonstrated. In 1968 DSDP (Deep Sea Drilling Project) was created. With their descendants ODP and IODP are collectively referred to as The Program, and are considered by many to be the greatest geoscience effort ever, being credited with numerous advances in the knowledge of the oceanic crust, including definitive evidence on Plate Tectonics and the identification and characterization of both the Cretaceous/Paleogenic interface and the Chicxulub crater, due to the impact of a large asteroid, considered responsible for the mass extinctions that included all non-Avian dinosaurs, about 66 Ma ago. Since joining the Program in

1998, 16 Portuguese researchers (or connected to Portugal) have participated in missions of the Program. According to Smith et al., (2010) " The strength of the Program and its continued success result from the realization that scientific ocean drilling provides a unique and powerful tool to study the critical processes of both short term change and the long-term evolution of Earth systems. A record of Earth's changing tectonics, climate, ocean circulation, and biota is preserved in marine sedimentary deposits and the underlying basement rocks. And because the ocean floor is the natural site for accumulation and preservation of geological materials, it may preserve a continuous record of these processes."

In 2002, A. Ribeiro published an important book, an advancement in the precision of the Theory of Plate Tectonics: "In soft plate tectonics we conclude that plates can suffer internal deformation, an order of magnitude below deformation across plate boundaries, but not negligible. This fact has obvious consequences for plate behaviour over time and the driving mechanism for plate motion. We claim that intraplate deformation is larger in oceanic plate interiors than in stable continental interiors, a view that opposes conventional plate tectonics.

The importance of applied Marine Geology is very large, in all aspects, therefore including climate change, natural hazards and mineral resources. The influence of the ocean on (1) the increase of CO₂ in the atmosphere, (2) the increase of global temperature, (3) the decrease of polar ice, (4) the rise of sea level and (5) the acidification of the ocean itself are the main factors of climate change; with regard to risks, destructive earthquakes, many of them originating below the sea floor, and tsunamis stand out. As for mineral resources on the seabed, the author presented the topic at the Academy not long ago (Barriga, 2019), concluding that mankind will need to extract from the seabed ores such as nodules and ferromanganese crusts rich in copper, nickel and cobalt, and smaller but recoverable amounts of many other metals, including rare earths; massive sulphides rich in copper, zinc, gold and silver, among others. Over the coming decades, we will continue to need hydrocarbons, many of which will be extracted from the seabed. We will need these resources, but we also need to protect the deep marine ecosystem. We should not choose between environment and mining, we need both.

The deep sub-oceanic biosphere, the set of microorganisms that live in the porosity of sediments and fractures of the rocks of the deep oceanic crust, whose mass has been estimated to be lower than previously thought, currently assumed to constitute just under 1% of the total terrestrial biosphere (Colwell and D'Hondt, 2013); or the still sizeable amount of around 6 gigatonnes of carbon contained (= 6·10¹⁵ g). The deep biosphere consists mainly of extremophile Archea and Bacteria. These are chemosynthetic organisms that, together with the fauna of the hydrothermal sources, receive almost all the energy and nutrients they need from internal sources of the planet, ultimately from nuclear fission, with little or no dependence on solar energy. It can thus be said that life on Earth depends on two nuclear reactors, one of fusion (the Sun) and another of fission (the Earth itself).

The deep biosphere is a source of natural resources closely associated with the geological materials of the seabed, with already numerous applications, in various

fields, including DNA amplification, detergents, cooking and fermentation, paper bleaching, optical switches and photonic electrical generators, drug carrying liposomes, cosmetics, protein protectors, DNA and cells, healthy foods, dietary supplements, food coloring, animal feed, molecular biology and artificial snow (Gonçalves et al., 2015).

The United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS) was signed in 1982 after two decades of arduous negotiations. The UNCLOS overlapped traditional law, based on the freedom of the seas, with a regime based on the division of oceanic space, granting coastal countries important areas of national jurisdiction, highlighting the Exclusive Economic Zone (EEZ) and the Extension of the Continental Shelf Zone. The "Area" was also created, whose mineral resources are defined as "common heritage of mankind", and the management of its exploitation is attributed to the International Seabed Authority (ISA) established by the Convention. While the EEZ includes the resources of the underlying continental shelf, the water body and even the atmosphere, the EEPC covers only the living and non-living resources permanently included in the marine soil and subsoil. The UNCLOS has probably entailed the largest transfer of resources in human history. In Portugal the Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental (EMEPC, see <https://www.emepc.pt>) was created, responsible for the proposed extension of the Platform by 2,400,000 km², which, added to the 1,727,408 km² of the EEZ, total about 44 times the value of the emerge area of the country. It is important to characterize, use properly and preserve this vast area, which could be the great opportunity of a better future for Portugal.

Bibliografia/References

Alvarez, W. and Leitão, H. (2010) The neglected early history of geology: The Copernican Revolution as a major advance in understanding the Earth. *Geology* 38, 231-234.

Barriga, F.J.A.S. (2019) Mineração Sustentável e Responsável em Ambiente Marinho Profundo, Colóquio Contaminação Ambiental. Academia das Ciências de Lisboa, pp. 3-28.

Colwell, F.S. and D'Hondt, S. (2013) Nature and Extent of the Deep Biosphere. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 75, 547-574.

Gaspar, J.A. & Leitão, H. (2018) Luís Teixeira, c.1585: The Earliest Known Chart with Isogonic Lines. *Imago Mundi* 70, 221-228.

Gonçalves, E.J., Barriga, F.J.A.S. and Gonçalves, M.E. (2015) Um Património Comum Para o Futuro/A Common Heritage For the Future, in: Ruivo, M. (Ed.), *Do Mar Oceano ao Mar Português/From the Mar Oceano to the Portuguese Sea*, pp 28-83. CTT/Centro Nacional de Cultura, p. 252.

Hess, H.H. (1962) *History of Ocean Basins, Petrologic Studies: A Volume to Honor A.F. Buddington*. Princeton University, Princeton, pp. 599-620.

<http://www.nas.edu/history/mohole/>

- Lyell, C. (1832). *Principles of Geology* (Vol. 1). London: John Murray.
- Murray, J. (1895) A summary of the scientific results obtained at the sounding, dredging and trawling stations of HMS Challenger. HM Stationery Office.
- Raff, A.D. and Mason, R.G. (1961) Magnetic Survey Off the West Coast of North America, 40° N. Latitude To 52° N. Latitude. Geological Society of America Bulletin 72, 1267-1270.
- Ribeiro, A., 2002, Soft Plate and Impact Tectonics, Springer, 324 p
- Smith, D.K., Exxon, N., Barriga, F.J.A.S. and Tatsumi, Y. (2010) Forty years of successful international collaboration in scientific ocean drilling. Eos Transactions American Geophysical Union 91, 393-404.
- Vine, F.J. and Matthews, D.H. (1963) Magnetic Anomalies Over Oceanic Ridges. Nature, 947-949.