

História contrafactual da tectônica de placas

Caroline Andreassa Caracho

Graduanda, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG),
Universidade de São Paulo
caroline.caracho@usp.br

Oswaldo Pessoa Jr.

Departamento de Filosofia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH),
Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil
opessoa@usp.br

—

RESUMO: O nome do geólogo marinho Henry William Menard (1920 - 1986) está relacionado à revolução científica nas Ciências da Terra que aconteceu na década de 1960. No epílogo de seu livro *The ocean of truth* (1986) ele especulou sobre um cenário contrafactual: “O que teria acontecido com a geologia, e particularmente, com a tectônica se as descobertas marinhas dos anos 1950 não tivessem ocorrido?” Neste trabalho esmiuçaremos o cenário hipotético imaginado por Menard, baseando-nos na situação possível de que a Marinha dos Estados Unidos não tivesse investido imensos esforços na exploração dos oceanos. Ele estimou um atraso de apenas uma década para a consolidação de uma rudimentar “tectônica de placas”. Pretendemos esclarecer os conceitos geológicos e geofísicos apresentados no relato de Menard, descrever de maneira diagramática os modelos causais dos caminhos históricos factual e contrafactual, e avaliar a plausibilidade das especulações do autor. A abordagem a ser adotada em nossa análise contrafactual considera mundos “causalmente” possíveis. Ao invés de simplesmente impor uma alteração contrafactual ao nosso mundo, como fez Menard, busca-se imaginar como tal cenário poderia se ramificar no passado de nosso mundo atual. O cenário escolhido por Menard é bastante difícil de estudar, em parte por ser um cenário improvável, e em parte pelo grande número de avanços envolvidos, tanto teóricos quanto experimentais.

PALAVRAS-CHAVES: Menard, William; história da geologia; cenário contrafactual; século xx

1 — Uma pergunta em um cenário contrafactual

Henry William Menard (1920 - 1986) foi um geólogo marinho californiano que participou da revolução científica que ocorreu nos anos 1960 nas Ciências da Terra. Em seu livro *The ocean of truth* (1986), relatou em detalhes a história da elaboração da teoria da tectônica de placas, que ocorreu a partir da exploração intensa dos oceanos, financiada principalmente pela Marinha dos Estados Unidos, a partir do final da década de 1940. Neste período, dois geólogos centralizaram a implementação do que podem ser considerados “instrumentos de exploração geológica contínua”, os navios oceanográficos equipados com variados medidores que oscilavam entre os he-

misférios norte e sul, fugindo dos invernos (Menard, 1986, p. 40). Tal empreitada, financiada de maneira crescente pela Marinha a partir de 1948, foi liderada por William Maurice Ewing (1906 - 1974) na costa leste, no *Lamont Geological Observatory*, e por Roger Revelle (1909 - 1991), no *Scripps Institution of Oceanography*, no sul da Califórnia. Havia um grande interesse econômico de petrolíferas em relação ao mar, aumentando o investimento em geofísica e geologia marinha, principalmente na área de sismologia. Com isso, diversas técnicas de obtenção e processamento de dados foram desenvolvidas e aplicadas em áreas como a sismologia marinha, o paleomagnetismo, batimetria, geomagnetismo e gravimetria.

Na última seção do epílogo do livro, Menard especula sobre um cenário contrafactual: “O que teria acontecido com a geologia, e particularmente com a tectônica, se as descobertas marinhas dos anos 1950 não tivessem ocorrido”? Ou seja, a revolução da tectônica de placas poderia ter ocorrido se não tivesse havido o intenso financiamento de pesquisa oceanográfica do pós-guerra? (Menard, 1986, p. 300)

Apresentaremos um breve relato da história do desenvolvimento desta teoria, e depois analisaremos a plausibilidade deste cenário contrafactual, com base na noção de “mundos causalmente possíveis” (Pessoa, 2009).

2 — A tese da deriva continental

Menard (1986, p. 223) aponta os anos 1963 - 1964 como aqueles em que a tese da deriva continental (a lenta separação dos continentes, em inglês *continental drift*) passou a ter um número expressivo de adeptos, apesar de haver ainda uma ruidosa oposição, sendo que nos Estados Unidos a proporção de convertidos era menor do que na Europa. A aceitação ou não da deriva continental é uma questão diferente da *explicação* para tal deriva (de maneira análoga à distinção do final do séc. XIX entre se aceitar ou não a evolução biológica, e explicar a evolução através de um ou mais mecanismos). Veremos na seção seguinte que três explicações diferentes para a deriva continental competiam no início da década de 1960.

A percepção de que a costa oriental da América do Sul se encaixa na costa ocidental da África surgiu no século XVI. Em 1596, o cartógrafo Abraham Ortelius (1527 - 1598), dos Países Baixos, não só percebeu o encaixe dessas costas continentais, com também especulou que “a América [...] foi arrancada da Europa e da África por terremotos e enchentes” (Romm, 1994). Esta antecipação da deriva continental, baseada no relato de Atlântida feita por Platão, também aparece na obra do geógrafo francês Antonio Snider-Pellegrini (1802 - 1885), que chegou a publicar um desenho da abertura do Oceano Atlântico em 1858.

No entanto, a visão dominante entre os naturalistas do século XIX era que a superfície terrestre não sofre grandes alterações ao longo do tempo geológico. Para explicar a formação de montanhas, passou-se a considerar que a Terra era originalmente uma esfera líquida que foi esfriando, formando uma crosta. Esta teoria do resfriamento global foi defendida pelo estadunidense James Dwight Dana (1813 - 1895), que propôs que o volume da Terra sofreria uma paulatina contração com o passar do tempo, de maneira análoga aos materiais que sofrem contração ao se resfriarem. Dessa maneira, com a diminuição da superfície da Terra, a crosta se quebraria em blocos, que poderiam submergir ou se empilhar em montanhas. Dana explica:

Em tal movimento, o levantamento de uma parte supõe necessariamente a subsidência em outra; e, enquanto a continental era a parte da crosta levantada, a oceânica era a parte subsidente. [...] A causa desta tensão e pressão dentro da crosta foi atribuída, em uma página anterior, ao resfriamento secular do globo. Não se apresenta nenhuma outra causa que possa compreender em sua ação todo o globo e todos os tempos (Dana, 1863, p. 733).

Outro defensor da teoria da Terra em contração foi o austríaco Eduard Suess (1831 - 1914), que postulou a existência de um antigo continente que chamou de Gondwana. Suess utilizava um modelo representativo de uma “maçã murchando”: a formação de sulcos em sua “casca” seria uma analogia para explicar a formação de cadeias montanhosas (Oreskes, 2001, p. 4). Em suas palavras:

Os deslocamentos visíveis na crosta rochosa da Terra são o resultado de movimentos produzidos por uma diminuição no volume de nosso planeta. As tensões resultantes desse processo mostram uma tendência a se resolverem em componentes tangenciais e radiais, e portanto, em movimentos horizontais (i.e. cavalgamento e dobramento) e verticais (i.e. subsidência) (Suess, 1904, p. 107).

No início do séc. xx, o geólogo estadunidense Frank Bursley Taylor (1860 - 1938) especulou sobre a geração de montanhas a partir de uma espécie de deriva continental em direção ao Equador. Estas especulações foram publicadas em 1910, dois anos antes de o meteorologista alemão Alfred Lothar Wegener (1880 - 1930) começar a discutir sua teoria da deriva continental. Em 1915, Wegener publicou em alemão a primeira edição do livro *A origem dos continentes e oceanos*, no qual procurou fundamentar suas ideias sobre a deriva continental por meio de diversas hipóteses (Wegener, 1966). Apesar dos ataques anti-germânicos em relação à teoria de Wegener, historiadores consideram que este não foi o principal motivo da rejeição de sua teoria. Acusado de alto grau de empirismo sem suporte teórico, descobriu-se que muitas das evidências citadas por ele não estavam corretas. Com isso, a deriva continental foi chamada depreciativamente nos Estados Unidos de “o sonho de um grande poeta” (Menard, 1986, p. 29). Apesar disso, vários cientistas apoiavam a hipótese da deriva continental, principalmente na Europa. Nos Estados Unidos, apenas Reginald Aldworth Daly (1871 - 1957) aderiu à nova teoria, mas lamentava a falta de rigor de Wegener. Daly recebeu o jovem geólogo sul-africano Alexander Logue du Toit (1878 - 1948), que em 1927 publicou uma importante pesquisa de comparação de fatores geológicos, paleontológicos e paleoclimáticos entre as bordas da África e da América do Sul (Du Toit, 1948). Daly também influenciou Arthur Holmes (1878 - 1948), considerado o precursor da teoria da expansão do assoalho oceânico (Menard, 1986, p. 85; Oreskes, 2001, p. 10).

3 — Três teorias em competição

Semelhanças nas costas continentais e nos fósseis levaram à tese da deriva continental. Mas como tal tese poderia ser explicada? Que mecanismos geológicos estariam por trás deste fenômeno?

Uma primeira teoria que dava conta do afastamento dos continentes era a teoria da Terra em expansão (*expanding Earth*). Ela imaginava que o volume da Terra aumentaria gradativamente, de maneira que a crosta continental primordial se fragmentaria, produzindo um afastamento relativo dos continentes. A convecção no manto não tinha importância para esta concepção.

Avanços na física e astronomia, como a lei de Hubble para a expansão do Universo, e uma especulação sobre constantes universais publicadas pelo físico Paul Adrien Maurice Dirac (1902 - 1984), em 1937, levaram diversos cientistas dessas áreas a propor que a Terra estaria em expansão, alguns supondo uma massa constante, outros uma massa variável, buscando-se medir a taxa de expansão da Terra.

Menard menciona pelo menos oito cientistas teriam chegado à hipótese da Terra em expansão de maneira independente, a partir de 1922. O geofísico húngaro László Egyed (1956) confirmou através de diversos cálculos indiretos a diminuição da velocidade angular da Terra, o que seria consistente com uma expansão a massa constante. O australiano Samuel Carey (1958, pp. 311 - 49), o estadunidense Bruce Heezen (1960) e o canadense Tuzo Wilson (1960) também foram importantes defensores da hipótese, só que este último mudaria para a hipótese da expansão do assoalho oceânico no final de 1961 (Menard, 1986, pp. 142 - 151).

A segunda teoria a ser considerada é a da expansão (ou “espalhamento”, para não confundir com a hipótese da expansão da Terra) do assoalho oceânico (*sea-floor spreading*). O primeiro a propor um mecanismo para este movimento do fundo do mar foi o inglês Arthur Holmes, já em 1929. Em seu livro *Principles of physical geology* (1944) difundiu na Europa a tese da deriva continental, sugerindo que o mecanismo do movimento dos continentes seria a convecção¹ do manto fluido (que carregaria os continentes como uma esteira transportadora). Perto da superfície da Terra, o magma teria um movimento horizontal e carregaria a crosta consigo. Nas regiões de ascensão convectiva do magma ocorreria a separação de continentes, e nessas regiões Holmes previu a formação de ilhas ou elevações arredondadas (*islands or swells*), como a Islândia. Holmes também previu regiões de subducção, em que os continentes seriam espremidos para dentro do manto, nas fossas oceânicas.

Tal modelo não teve muito impacto, e a teoria da expansão do assoalho oceânico só voltaria à discussão com as formulações, feitas de maneira independente, dos estadunidenses Harry Hammond Hess (1906 - 1969) (em manuscrito circulado a partir do final de 1960 e publicado só em novembro de 1962) e Robert Sinclair Dietz (1914 - 1995) (em publicação na *Nature* em junho de 1961). Foram as teses desses dois autores que acabaram sendo incorporadas na teoria da tectônica de placas, consolidada em 1967 - 1968.

A grande novidade em relação ao trabalho de Holmes foi incorporar a descoberta de que as dorsais meso-oceânicas (*mid-ocean ridges*) possuem em seu topo um vale de em torno de 3 km de profundidade e 30 km de largura, que não só acompanha as dorsais, mas dá a volta em boa parte do globo terrestre. Tal vale é chamado de “rifte” (do inglês *rift*), e em certas regiões adentra no continente, como na África e na Califórnia, constituindo o início da separação desses continentes. É nesses locais que o magma se espalha, formando de cada lado as placas que se separam lenta e continuamente. A dorsal no Atlântico e seu rifte central foi descoberta em 1927 pelos alemães, em uma fracassada missão para extrair ouro do mar: Theodor Stocks e Georg Adolf Otto

¹ A convecção é o movimento de matéria que ocorre quando a região mais baixa no campo gravitacional fica mais quente; neste caso, as massas quentes ficam menos densas e se locomovem para cima, enquanto as massas de cima descem, formando um grande movimento circular.

Wust (1890 - 1977) fizeram um cuidadoso levantamento de ecobatimetria, publicado em 1935. Outros trechos foram sendo descobertos, identificando-se a atividade sísmica. Bruce Heezen (mencionado acima como partidário da terra em expansão) liderou essa pesquisa, e juntamente com Marie Tharp (1920 - 2006) desenharam em 1956 os primeiros diagramas fisiográficos do fundo do mar, usando dados sísmicos para inferir a presença da dorsal meso-oceânica em regiões inexploradas. Neste ano, Maurice Ewing e Heezen publicaram a respeito da dorsal meso-oceânica (cf. Menard, 1986, pp. 94 - 107).

Uma terceira teoria que surgiu no período e que aceitava a deriva continental foi o desenvolvimento sequencial das dorsais (*sequential development of ridges*), proposta por Henry Menard. Ela negava que a deriva continental fosse causada pela formação de crosta oceânica nas dorsais, e via as dorsais como estruturas efêmeras. Assim considerava que as ilhas do Havá formariam uma dorsal extinta, a meso-atlântica uma dorsal madura, e a do Pacífico Oriental² seria nova. Considerava que dorsais de curta duração poderiam formar em qualquer lugar, e depois algum mecanismo as levaria para o centro do oceano (Menard, 1986, pp. 132 - 141). Em suas palavras:

De fato, a existência de elevações centradas nos oceanos Índico e Pacífico parecia eliminar a possibilidade de que a África e a América do Sul tivessem se separado a partir da Dorsal Mesoatlântica. No entanto, se uma distribuição aleatória de elevações 'oceânicas' de relativa curta duração for aceita, a figura é inteiramente diferente (Menard, 1960, p. 1746).

4 — Contexto de confirmação no paleomagnetismo

A situação no início dos anos 1960, na área de Geociências, envolvia um grande número de dados observacionais dos mais diversos tipos, e a tentativa de confirmar uma das três teorias concorrentes, ou eventualmente outras hipóteses, não era fácil. Como diríamos hoje, a Terra é um sistema complexo, e não parecia haver experimentos simples que pudessem convencer os geólogos e os geofísicos de qual seria a teoria correta. Cada dado novo obtido após trabalho árduo no mar ou em terra podia ser interpretado de diversas maneiras, especialmente comparando-os com dados ou interpretações também dúbias de outras áreas. Em retrospecto, as evidências favoráveis à teoria da expansão do assoalho oceânico podem parecer que já eram fortes em 1962, mas no calor da hora a situação era bastante confusa. O que seria necessário para a conversão da comunidade era uma evidência experimental contundente, e esta viria em 1963, com os dados do magnetismo das rochas nas dorsais.

O ponto de partida da área do paleomagnetismo é a noção de que o campo magnético da Terra é registrado na lava que se solidifica, por meio da orientação de cristais magnéticos na lava. Em 1906, no entanto, o francês Bernard Brunhes (1867 - 1910) descobriu rochas magnetizadas em direções opostas à direção do campo magnético terrestre. Seria isso uma indicação de que o campo magnético muda com o passar do tempo geológico, ou apenas que o magnetismo das rochas poderia não acompanhar o campo da Terra, ou ser alterado com o passar do tempo? Em 1929, o japonês Motonori Matuyama (1884 - 1958) investigou a hipótese de mudança da direção

² Esta dorsal passava pela Ilha de Páscoa e foi descoberta pela expedição Downwind, na qual estava Menard, no final de 1957.

do campo magnético da Terra em depósitos de lava, e percebeu um padrão consistente de reversões em rochas do começo do Pleistoceno. Concluiu assim que neste período o campo magnético da Terra tinha polaridade reversa. Tal descoberta não chamou atenção no Ocidente, mas voltou a ser descoberta por diversos cientistas no início da década de 1950 (Oreskes, 2001, p. 21; Menard, 1986, p. 71).

Avanços importantes foram obtidos na Inglaterra, no laboratório do físico Patrick Maynard Stuart Blackett (1897 - 1974), que mostrou que rochas paleozoicas e mesozoicas indicavam que os polos magnéticos terrestres se localizavam em posições polares diferentes das de hoje. Ele e seu aluno Stanley Keith Runcorn (1922 - 1995) buscavam confirmar que os alinhamentos registrados nas rochas correspondiam ao campo magnético da Terra no passado, e não eram devidos a algum fenômeno de “auto-reversão”, devido à presença de alguma mistura peculiar de materiais ferromagnéticos. Em 1956, Runcorn produziu um mapa detalhado do movimento do polo norte a partir de amostras magnéticas na Europa e da América do Norte; porém, o percurso do polo diferia nos dois casos, indicando fortemente que ocorreria uma deriva relativa dos dois continentes. Tal indício converteu muitos, em torno de 1960, para a tese da deriva continental (Menard, 1986, pp. 87 - 90).

Após o término da guerra, Victor Vacquier (1907 - 2009) adaptou o magnetômetro com o qual trabalhava para a pesquisa geológica, e o instrumento passou a ser rebocado por navios, possibilitando a obtenção de mapas magnéticos do assoalho oceânico. O primeiro mapa magnético foi feito pela Scripps Institution, em projeto realizado por Ronald George Mason (1916 - 2009) e Arthur Datus Raff (1917 - 1999) ao longo da década de 1950. Em 1961, publicaram um artigo mapeando as anomalias magnéticas normais e reversas ao longo da costa Noroeste dos Estados Unidos. O mapa possuía um padrão intercalado de faixas com polaridades normais e reversas, com isso sendo chamado de “padrões zebraados”. Vacquier foi chamado para auxiliar as pesquisas e acabou descobrindo que tais padrões eram deslocados em 640 milhas náuticas na zona de fratura de Mendocino. Tais fraturas correm de maneira perpendicular às dorsais, e tinham sido reveladas ao longo da década de 1950 tanto no Pacífico quanto no Atlântico (Menard, 1986, pp. 71 - 79; Oreskes, 2001, p. 22).

A datação precisa das reversões do campo magnético da Terra foi possível a partir do aperfeiçoamento, em torno de 1955, da técnica de datação radioativa envolvendo potássio e argônio, pelo físico John Hamilton Reynolds (1923 - 2000), na Universidade da Califórnia em Berkeley. O potássio-40 decai no gás argônio, que permanece na rocha após a solidificação desta; assim, sabendo-se a taxa de decaimento do material radioativo, basta medir a proporção entre o potássio e o argônio preso na amostra para obter uma estimativa da idade desta. A técnica se aplica a rochas acima de 100 mil anos, até a idade da Terra. Dois grupos passaram a trabalhar nessa datação, o liderado por John Conrad Jaeger (1907 - 1979), em Canberra, na Austrália, e o liderado por James Balsley, em Berkeley, que incluía também os jovens Allan Verne Cox (1926 - 1987) e Richard Doell (1923 - 2008).

Com a datação de sedimentos coletados do fundo dos oceanos, a área de Geociências conquistou um marcador estratigráfico global, e os períodos de reversão magnética foram mapeados com precisão cada vez maior. Uma reversão breve ocorrida há em torno de 900 mil anos,

descrita por Doell e Brent Dalrymple, tornou-se clara em 1966, a partir de estudos de rochas em Jaramillo, no Novo México, e teve papel importante na datação de rochas do período. Independentemente deles, Neil Opdyke descobriu o evento Jaramillo em 1965, por meio de análise das orientações magnéticas em uma coluna de sedimentos marinhos (Frankel, 1982, p. 33).

5 — A hipótese de Vine-Matthews-Morley e sua confirmação observacional

O episódio que selou a vitória da hipótese da expansão do assoalho oceânico partiu de uma explicação para o padrão magnético zebrado, formulada independentemente pelo geofísico canadense Lawrence Whitaker Morley (1920 - 2013) (em artigo submetido em dezembro de 1962, mas recusado em dois periódicos, só sendo publicado em 1964) e pelos ingleses Frederick Vine e Drummond Hoyle Matthews (1931 - 1997), em artigo submetido em julho de 1963, e publicado em setembro do mesmo ano. A explicação correlacionava os padrões magnéticos da crosta oceânica (padrões zebrados) com as reversões do campo magnético terrestre. O derrame de lava que ocorre nas dorsais se resfria através do ponto de Curie (temperatura acima da qual os materiais perdem suas propriedades magnéticas permanentes e são substituídas pela magnetização induzida), formando a crosta com seus materiais magnéticos orientados para a posição do campo magnético vigente. Esses padrões seriam simétricos e contínuos, pois nas dorsais a crosta criada empurra a antiga em ambos os lados, igualmente.

Além de explicar a observação do padrão magnético zebrado, a hipótese de Vine-Matthews-Morley previa que haveria uma simetria bilateral nos padrões zebrados de ambos os lados das dorsais (apesar de a simulação computacional que aparece no primeiro trabalho de Vine & Matthews não exibir simetria bilateral). Vine & Morley argumentaram também que a espessura das faixas do padrão zebrado deveria variar com a latitude, pois a expansão do assoalho oceânico sempre se dá como uma rotação em torno de algum ponto, o “polo de Euler”. O trabalho despertou pouca atenção, mas um geofísico que levou adiante a proposta foi George Edward Backus, calculando em detalhe a variação das faixas com a latitude (Menard, 1986, pp. 215 - 22).

Em 1965, três investigações experimentais vieram a confirmar a existência da simetria nas faixas magnéticas prevista por Vine-Matthews-Morley.

(a) Em junho de 1965, junto a Tuzo Wilson, Vine começou a aplicar sua hipótese na dorsal Juan de Fuca, na costa oeste da América do Norte. Por meio da análise dos padrões magnéticos em torno desta dorsal, constataram a simetria em volta da anomalia magnética central, mas a velocidade de espalhamento calculada não era linear, como se desejaria. Apenas quando soube do evento de Jaramillo e passou a identificá-lo em seus dados, foi que Vine obteve a curva linear esperada, com uma velocidade de 2,9 cm por ano, duas vezes maior do que a calculada anteriormente.

(b) Três cientistas do *Lamont Observatory*, James Heirtzler, Xavier Le Pichon & Manik Talwani, mapearam as anomalias magnéticas na dorsal de Retkjanes, na Islândia, mas as interpretaram como surgindo de auto-reversões, sendo contrários à teoria da expansão do assoalho oceânico e à hipótese de Vine-Matthews-Morley. No entanto, interpretados segundo esta hipótese, geraram uma velocidade de 1 cm por ano (Frankel, 1982, pp. 29 - 34).

(c) Paralelamente a isso, o navio oceanográfico *Eltanin* partiu de Lamont em sua vigésima missão, com o objetivo de trabalhar nas águas da Antártica e do Pacífico, por volta de setembro de

1965. Nessa expedição, Walter Pitman e Ellen Herron obtiveram diversos perfis magnéticos da Dorsal do Pacífico Oriental. De volta a Lamont, após a eliminação de ruídos, tratamento dos dados e uso do modelo computacional para obter perfis em direções adequadas, Pitman percebeu uma notável resolução e simetria. Buscando dados da expedição anterior, encontrou uma simetria ainda mais clara em perfis magnéticos do Eltanin-19: “Aquilo bateu em mim como um martelo!”. Era um fim de tarde de janeiro de 1966, e Pitman pregou a imagem do perfil na porta de Opdyke e foi para casa. “Na manhã seguinte, uma conversão mais como uma Reforma Protestante do que uma revolução científica começou em Lamont” (Menard, 1986, p. 264). A publicação de Pitman em coautoria com o convertido Heirtzler apareceria na *Science* em dezembro de 1966.

6 — Falhas transformantes

Em 1965, simultânea e independentemente, John Tuzo Wilson (1908 - 1993) e Alan Coode (1965) concebem a ideia de “falha transformante”.

O desconhecido inglês Coode submeteu seu trabalho primeiro, em março de 1965, para um periódico canadense, que só foi publicado em agosto. Apresentou um desenho detalhado da falha transformante dorsal-dorsal, mas não lhe deu um nome especial. Enquanto isso, o renomado Tuzo Wilson teve a ideia rapidamente, enquanto fazia a revisão de um livro de geologia na Inglaterra, e enviou para a *Nature* o seu *paper*, que foi publicado em três semanas, em julho (Oreskes, 2001, p. 26; Menard, 1986, pp. 242 - 51, Fig. 9).

Conforme apontado por Menard, este foi um exemplo claro do “efeito Mateus”, em que a pessoa mais renomada recebe quase todos os créditos e a menos renomada praticamente nenhum. Em 1963, Tuzo Wilson já tinha explicado a formação de arquipélagos vulcânicos, como o Havai, a partir da noção de uma placa tectônica que passa por um *hot spot* (fonte de magma) fixo no manto (Menard, 1986, pp. 192 - 196). Outra noção do sociólogo Robert Merton que é usada por Menard é a tese de que descobertas independentes são muito mais frequentes do que tendemos a imaginar, e a história da tectônica de placas ilustra isso muito bem, como vimos.

Como a ideia de falhas transformantes era consequência lógica da expansão do assoalho oceânico, sua confirmação contribuiu para a aceitação da teoria da expansão do assoalho oceânico, que com os novos processos descobertos, se consolidou na Teoria da Tectônica de Placas, oficialmente inaugurada em março de 1968, com os trabalhos de síntese de Jason Morgan e do grupo de Lamont (especialmente Heirtzler e Pitman): “a revolução tinha terminado; o florescimento da geologia poderia começar” (Menard, 1986, p. 294).

7 — A probabilidade do cenário contrafactual de Menard

Retornemos agora para o cenário contrafactual proposto por Menard:

Onde estaria a geologia se a crosta oceânica fina e uniforme, o alto escoamento de calor, *guyots*³, o rifte mediano global, anomalias magnéticas lineares e zonas de fratura não tivessem sido descobertos ou tivessem sido todos classificados por uma Marinha excessivamente precavida? (Menard, 1986, p. 300)

³ Vulcões extintos submersos, de topo plano.

A abordagem a ser adotada em nossa análise contrafactual considera mundos “causalmente” possíveis, ou seja, cenários contrafactuais que poderiam ter surgido a partir de uma ramificação em algum instante do passado (cf. Pessoa, 2009). Assim, ao invés de simplesmente impor uma alteração contrafactual ao nosso mundo, como fez Menard, busca-se imaginar como tal cenário poderia se ramificar no passado de nosso mundo atual.

Assim, nosso ponto de partida é avaliar a plausibilidade do cenário contrafactual sugerido (cf. Pessoa *et al.*, 2016). Para tanto, consideremos qual teria sido a probabilidade de a “exploração oceânica intensiva” (que chamaremos de “avanço A1”) não ter se iniciado na década 1948 – 57. Ora, a 2ª Guerra Mundial produziu centenas de navios com tecnologia antissubmarino, então era inevitável que com o fim da guerra eles fossem adaptados para outros usos. Ou seja, tomando como ano de referência 1945 em nosso mundo atual, a probabilidade de A1 não ocorrer, digamos antes de 1950, era baixíssima.

Por outro lado, qual seria esta probabilidade se o ano de referência fosse 1930, ou seja, se considerarmos mundos que bifurcam do mundo atual nesta data? Considerando que neste caso haveria uma probabilidade razoável de uma Guerra Mundial não ocorrer, nesses mundos possíveis sem guerra, a exploração oceânica intensiva começaria bem mais tarde do que em nosso mundo atual, ou melhor, a exploração se intensificaria de maneira gradual. Explorar de maneira unificada as consequências, para as diferentes áreas da ciência, da ausência da Segunda Guerra Mundial é um projeto que já pode ser feito a partir dos diversos relatos fragmentados distribuídos na literatura.

De qualquer maneira, para tornar a pergunta de Menard mais exata, podemos considerar os mundos possíveis que ramificam em 1930 e nos quais não ocorre a Guerra, e para os quais A1 só ocorreria a partir de 1980. Esta última data precisa ser imposta para se enquadrar no cenário de Menard, pois, como veremos, ele considera explicitamente um mundo sem exploração marítima intensiva em 1980. No entanto, a probabilidade de este cenário ocorrer, mesmo sem a Guerra Mundial, nos parece bastante pequena, pois o ritmo natural da ciência e tecnologia faria o número de navios oceanográficos crescer, mesmo que lentamente, de maneira que pelo menos a partir de 1970 dados sobre o fundo dos oceanos começariam a surgir. Em suma, o mundo possível W' de Menard parece ter uma probabilidade muito pequena de ocorrer, a partir de uma bifurcação em 1930, podendo ser estimada como em torno de 1%.

8 — Explorando o cenário contrafactual

Dito isso, considerando o mundo possível W', sem exploração marítima intensiva até 1980, será que a teoria da tectônica de placas poderia ter sido descoberta, só com as evidências obtidas nos continentes e ilhas?

Menard foca inicialmente na tese da deriva continental. Sugere que “os dados continentais clássicos mais o paleomagnetismo poderiam ter provado a deriva sem observações marinhas”. O primeiro ponto é que os avanços em paleomagnetismo, mencionados na seção 4, ocorreriam ao longo da década de 1960. No cenário contrafactual W', mesmo sem a Segunda Guerra Mundial, haveria o desenvolvimento da datação por potássio-argônio, e também haveria descobertas como a ocorrida em Jaramillo, estabelecendo a realidade de reversões do campo magnético

da Terra e mapeando as direções de polaridade magnética em diferentes épocas geológicas. Assim, Menard especula que “a evidência paleomagnética em favor da deriva seria muito mais convincente”. Julgamos que tal evidência teria que se basear no caminho inaugurado por Runcorn, em 1956, de mapear os efeitos da mudança de localização do polo magnético juntamente com os efeitos da deriva dos continentes. Sabemos que, no cenário contrafactual *W'* (com ramificação em 1930 e sem a Segunda Guerra Mundial), a hipótese da deriva continental já teria sido proposta por Wegener, du Toit e outros, e pelo menos os rudimentos da teoria da expansão do assoalho oceânico já teriam sido sugeridos, no trabalho de Holmes em 1929. Além disso, podemos especular com alguma confiança que a teoria da Terra em expansão estaria perdendo seu fôlego em torno de 1970, com as medições feitas por satélites das dimensões do planeta (supondo que o atraso no lançamento de satélites em *W'* não fosse muito grande). Assim, a tese da deriva continental poderia se tornar bem aceita em torno de 1970 em *W'*, e um programa de pesquisa focado na expansão do assoalho oceânico poderia se tornar bastante ativo; porém, sem os detalhes empíricos a respeito das dorsais seria difícil progredir.

Menard (1986, p. 90) chega a indicar qual seria o estilo das publicações em *W'*, ao descrever um longo artigo escrito pelo geólogo sul-africano Lester Charles King (1907 - 1989), simpático à deriva continental, no Simpósio Hobart de 1958, mas completamente alheio à “faculdade invisível” (*invisible college*, outra expressão de Merton) britânica-norte-americana, um exemplo de reflexão sobre a deriva sem dados oceanográficos. Ele comenta mais adiante:

Adicionando dados paleoclimatológicos, mais uma nova visão da geologia clássica provavelmente teria convencido a nova geração de geólogos da realidade da deriva. Talvez a geologia tivesse começado a florescer em torno de 1980 mesmo sem o poder preditivo quantitativo da tectônica de placas. Tais afirmações parecem bastante plausíveis, supondo-se *W* (Menard, 1986, p. 300).

Em seguida, Menard explora o campo da sismologia em *W'*, mencionando que “haveria testes nucleares”. Este é um ponto interessante para nossa estratégia de construção de mundos causalmente possíveis, pois se não tivesse havido a Segunda Guerra Mundial, o próprio avanço dos armamentos nucleares teria atrasado em pelo menos uma década. Este é um bom exemplo de como a construção de mundos causalmente possíveis impõe restrições à nossa especulação. Nesse caso, diríamos que a especulação de Menard não se sustenta.

De qualquer maneira, a sismologia se desenvolveria em um ritmo bastante intenso em *W'*, de maneira comparável ao que ocorreu na história atual, de forma que os geofísicos de *W'* “teriam plotado os primeiros movimentos dos terremotos da maneira correta e descoberto as falhas transformantes dorsal-dorsal, o rifte espalhante e o movimento rígido da bacia do Pacífico Norte. Parece plausível que essas descobertas, mais a litosfera mergulhante das fossas abissais, teriam se juntado em algum momento, dentro de uma década de quando foram descobertas” (Menard, 1986, p. 300). Neste cenário, com os cientistas só molhando os pés na água, alguma pesquisa oceanográfica próxima aos continentes teria sido necessária, mas isso é consistente com a maioria dos cenários contrafactuais sem Guerra Mundial (ramificando em 1930), em que a pesquisa oceanográfica se desenvolveria lentamente (ao contrário de *W'*, na qual ela só se inicia em 1980).

Há cenários contrafactuais fáceis de analisar, e há os cenários difíceis. Este escolhido por

Menard é bastante difícil de estudar, em parte por ser um cenário improvável, e em parte pelo grande número de avanços envolvidos, tanto teóricos quanto experimentais. Com a vivência que teve por ter participado da revolução da tectônica de placas, a pergunta contrafactual surgiu naturalmente em sua mente, e ele a considerou seriamente, apesar de dedicar apenas uma página para a discussão do cenário. Sua conclusão foi de que, em W', parte dos avanços cruciais para a teoria da tectônica de placas teria surgido até em torno de 1980: "Se a análise estiver correta, mesmo sem as descobertas marinhas, evolução ao invés de revolução a esta altura teria levado à aceitação geral da hipótese da deriva continental e a uma rudimentar tectônica de placas" (Menard, 1986, p. 301). O que ficaria de fora, segundo escreveu, seriam "os movimentos precisos das placas" e "todos os fenômenos associados ao envelhecimento e resfriamento da litosfera". Podemos adicionar também a possível ausência da noção de dorsal meso-oceânica tal qual temos hoje.

REFERÊNCIAS

- CAREY, S.W. A tectonic approach to continental drift. In: Carey, S.W. (org.). *Continental drift: a symposium*. Hobart: University of Tasmania, 1958. Pp. 177 - 355.
- DANA, J. D. *Manual of geology*. Philadelphia: Theodore Bliss, 1863.
- DIETZ, R.S. Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor. *Nature* **190**: 854 - 57, 1961.
- DIRAC, P.A.M. The cosmological constants. *Nature* **139**: 323 - 23, 1937.
- DU TOIT, A. L. *Comparação geológica entre a América do Sul e a África do Sul* [1927]. Tradução de K. E. Caster & J. C. Mendes. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1948.
- EGYED, L. Determination of changes in the dimensions of the Earth from palæogeographical data. *Nature*, **178**: 534 - 34, 1956.
- FRANKEL, H. The development, reception, and acceptance of the Vine-Matthews-Morley hypothesis. *Historical Studies in the Physical Sciences* **13** (1): 1 - 39, 1982.
- HEEZEN, B. C. The rift in the ocean floor. *Scientific American* **203** (4): 98 - 110, 1960.
- HEEZEN, B.C. & Tharp, Marie. Physiographic diagram of the North Atlantic. *Bulletin of the Geological Society of America* **67**: 1704 - 1704, 1956.
- HOLMES, A. *Principles of physical geology*. New York: Ronald Press, 1944.
- MASON, R.G. & RAFF, A.D. Magnetic survey of the West coast of North America, 32°N latitude to 42°N latitude. *Bulletin of the Geological Society of America* **72**: 1259 - 66, 1961.
- MENARD, H.W. The East Pacific rise. *Science*, **132**: 1737 - 1746, 1960. .
- . *The ocean of truth: a personal history of global tectonics*. Princeton: Princeton University Press, 1986.
- MORLEY, L.W. & LAROCHELLE, A. Palaeomagnetism as a means of dating geological events. *Royal Society of Canada Special Publication* **8**: 39 - 50, 1964.
- ORESQUES, NAOMI. From continental drift to plate tectonics. In: Oreskes, N. (eds.). *Plate tectonics: an insider's history of the modern theory of the Earth*. Boulder (CO): Westview Press, 2001. Pp. 3 - 27.
- PESSOA JR., O. Scientific progress as expressed by tree diagrams of possible histories. In:

MORTARI, C.A. & DUTRA, L.H.A. (eds.). *Anais do V Simpósio Internacional Principia*. Coleção Rumos da Epistemologia, vol. 9. Florianópolis: NEL-UFSC, 2009. Pp. 114 - 22.

PESSOA JR., O.; GESING, R.; JÓ DE SOUZA, M. & MARCÍLIO, D.C.M. Computing possible worlds in the history of modern astronomy. *Principia* **20** (1): 117 - 26, 2016.

PITMAN, W.C., III & HEIRTZLER, W.C. Magnetic anomalies over the Pacific-Antarctic Ridge. *Science* **154**: 1164 - 71, 1966.

ROMM, J. A new forerunner for continental drift. *Nature* **367**: 407 - 408, 1994.

SUESS, E. *The face of the Earth*. Vol. 1 [1885]. Trad. H. B. C. Sollas. Oxford: Clarendon, 1904.

VINE, F.J. & MATTHEWS, D.H. Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature*, **199**: 947 - 49, 1963.

WEGENER, A. L. *The origin of continents and oceans* [1915]. Trad. da 4ª edição alemã de 1929 por J. Biram. New York: Dover, 1966.

WILSON, J. T. Some consequences of expansion of the earth. *Nature*, **185**: 880 - 82, 1960.

----- A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature*, **207**: 343 - 47, 1965.