

O tempo em Geociências e o pulsar da Terra - reflexões sobre a região dos Campos Gerais do Paraná

Mário Sérgio de Melo

Depto. de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR
msmelo@uepg.br

RESUMO *A escala de tempo dos fenômenos geológicos e geomorfológicos escapa da compreensão dos não especialistas. Entretanto, tal compreensão vem se tornando essencial para a gestão dos recursos naturais, enfrentamento de situações de risco e avaliação das interações entre ciclos naturais e artificiais. Este texto procura estimular a reflexão sobre discussões em curso na região dos Campos Gerais do Paraná que demandam o entendimento do papel do tempo em Geociências: a idade da formação dos abrigos naturais e sítios arqueológicos, o risco de indução de formação de novas furnas e o risco de contaminação do manancial de águas subterrâneas do Aquífero Furnas.*

PALAVRAS CHAVE: *Tempo em Geociências, Campos Gerais do Paraná, furnas, Aquífero Furnas.*

ABSTRACT *Understanding the time scale of geological and geomorphological phenomena is not achieved by nonspecialists. However, such comprehension becomes essential for the natural resources administration, risk management and evaluation of interactions among natural and artificial cycles. This text seeks to stimulate reflection about ongoing discussions in the Campos Gerais do Paraná region, which require the understanding of the role of time in Geosciences: age of the formation of natural shelters and archaeological sites, the risk of induced formation of new furnas (collapsed hollows in sandstones) and contamination of underground waters of the Furnas Aquifer.*

KEYWORDS: *Time in Geosciences, Campos Gerais do Paraná region, collapsed hollows, Furnas Aquifer.*

Escalas de tempo em Geociências

Quando falamos em escala de tempo em Geociências, diversas ideias de grandeza vêm à mente:

- a idade admitida para o universo, da ordem de 14 bilhões de anos;
- a idade do Planeta Terra, da ordem de 4,6 bilhões de anos;
- os primeiros mamíferos, surgidos há cerca de 220 milhões de anos;
- a separação dos continentes, acontecida entre 200 e 130 milhões de anos atrás;
- o surgimento dos primeiros hominídeos, há pouco mais de 5 milhões de anos;
- o final do último período glacial, há cerca de 10.000 anos;
- os tsunamis da região da Indonésia (Oceano Índico) a cada cerca de 100 anos;

- o uso de isótopos instáveis (C, U, K, Rb, Sm, Pb, etc.) com meias-vidas conhecidas (5.730 a mais de 100 bilhões anos) para permitir realizar as datações radiométricas.

É relativamente comum a comparação da idade da Terra com o transcorrer de um ano (v.g. Salgado-Laboriau 1994): nesta comparação, os primeiros vertebrados teriam aparecido no dia 19 de dezembro, os primeiros mamíferos em 26 de dezembro, o ser humano só teria aparecido às 22:30 horas do dia 31 de dezembro. A invenção do alfabeto, no Império Acadiano, teria acontecido às 23:59'51", ou seja, nove segundos antes do fim do ano. Outros comparam a idade da Terra com a de um homem de 46 anos de idade. Nesta comparação, a revolução industrial e a ascensão das cidades ocorrem nos últimos 60 segundos de sua vida.

As comparações refletem a dificuldade que nós, seres humanos, temos para fazer uma ideia mais clara da escala de tempo dos processos geológicos e geomorfológicos. Eles demoram muito tempo, e nossa vida, e mesmo toda a história da humanidade, é muito curta quando comparada com a história do Planeta Terra, e da evolução das espécies. Então é preciso usar artifícios, trazendo a idade da Terra para escalas de tempo que possam nos ser compreensíveis.

A importância da compreensão da Escala do Tempo Geológico

Mas qual a importância de compreender o significado do Tempo Geológico? No ano de 2009 num encontro sobre geodiversidade em São Paulo um dos palestrantes proferiu frase reveladora: -- “Se quisermos que os cidadãos comuns comecem a se interessar pelos fenômenos e feições geológicas, não podemos começar a conversa dizendo ‘isto tem tantos milhões e anos’. O cidadão vai imediatamente desinteressar-se; milhões de anos é algo que está fora de sua realidade e, para o senso comum, algo tão antigo não pode ter aplicação prática na vida de hoje, e portanto não tem interesse”.

Na verdade, o palestrante tivera a intenção de alertar os geocientistas presentes para a necessidade de aprender a falar de Geociências com o não especialista. Principalmente entre nós, no Brasil, onde as Geociências são ainda pouco ensinadas no ensino fundamental e médio, e há um relativo desconhecimento dos fatores geológicos que têm importância essencial para nossa vida. Mas não é só no Brasil. Tanto que a UNESCO – órgão da ONU para a educação e a ciência – instituiu o Ano Internacional do Planeta Terra (2007-2009), com a finalidade de reunir governos, cientistas e empresários para discutir temas ambientais que estão em evidência em todo o globo, tais como água subterrânea, desastres naturais, geomedicina, clima, fontes de energia, solos, Terra e vida.

Mas, será verdade que fenômenos acontecidos há muito tempo não têm importância para nossa vida? Vejamos. Tsunamis, vulcões e terremotos, por exemplo, são fenômenos que ocorrem aproximadamente nos mesmos locais desde que a superfície da Terra e os continentes começaram a adquirir sua configuração atual, a partir de cerca de 130-200 milhões de anos atrás. Esses fenômenos catastróficos têm uma certa periodicidade, ou seja, em muitos casos podem ser previstos com alguma

precisão, se seus sinais forem devidamente monitorados e decifrados. Entender estes fenômenos de longo ciclo, e dentro deles as manifestações repetitivas de ciclos menores (cerca de 100 anos para os tsunamis do Oceano Índico) é tarefa fundamental para podermos melhorar previsões e minimizar os efeitos de grandes cataclismos naturais.

Os ciclos naturais e a influência humana

Hoje presenciamos o acirrado debate sobre o fenômeno do aquecimento global. Discute-se se ele está de fato sendo provocado pelas grandes emissões de gases estufa, principalmente o CO₂, ocorridas a partir do início da revolução industrial, menos de 300 anos atrás. Mas antes dos seres humanos e da revolução industrial, a Terra já experimentava alternância de fases glaciais e interglaciais, com ciclos de cerca de 100.000 anos, influenciados por fatores astronômicos. O efeito da atividade humana, se de fato ele ocorreu na intensidade admitida por parte dos debatedores deste controverso e importantíssimo tema, foi acelerar o ciclo natural. Semelhante efeito acelerador dos fenômenos naturais é também observado na erosão dos solos e, em consequência, nas transformações de toda a biota e no ciclo da água, muitas vezes com efeitos danosos irreparáveis na biodiversidade.

Fases glaciais e interglaciais influenciam diretamente no clima da Terra e no nível dos oceanos. Durante o último ciclo glacial, até cerca de 10.000 anos atrás, o nível do oceano encontrava-se no Brasil até 110 metros abaixo do nível atual (Suguio 2005). Por outro lado, há 5.500 anos o nível do mar estava até 5 metros acima do atual. Por esta razão, os sambaquis (que são sítios arqueológicos de indígenas pré-históricos contendo grandes acumulações de conchas, e que se supõe que à época de sua construção situavam-se à beira-mar), muito comuns na costa paranaense, às vezes situam-se a dezenas de quilômetros da linha de costa atual continente adentro. E por este motivo as planícies costeiras são constituídas por materiais sedimentares muito especiais (areias de antigas praias e dunas, argilas de mangues e lagunas), que colocam problemas de diversas ordens, tais como a presença de aquíferos superficiais muito vulneráveis e de argilas plásticas inadequadas como fundação de edificações.

Nos dias atuais o nível médio do mar está voltando a subir, em consequência do aquecimento global e do degelo das calotas polares.

A capacidade de o ser humano de acelerar os

ciclos naturais é a principal razão porque precisamos entender o Tempo Geológico. Para entender a influência humana nos ciclos naturais, primeiro é preciso conhecer estes ciclos, depois estimar o alcance da influência humana, para em seguida tomar as providências para que os ciclos permaneçam dentro de limites que continuem permitindo as condições que sustentam a vida no planeta. O recrudescimento do efeito estufa e o aquecimento global não são exemplos isolados. A perda de solos por erosão em áreas agrícolas, a desertificação, os deslizamentos de terra, o assoreamento dos rios e consequente aumento das enchentes, são respostas da natureza à aceleração de processos e ciclos naturais pela atividade humana.

A erosão de solos agrícolas e a desertificação, este um fenômeno global segundo a UNESCO (Matallo Júnior 2001), representam situações que impõem necessidade de reflexão (o ano de 2006 foi o Ano Internacional dos Desertos e da Desertificação da UNESCO). O manejo predatório das terras aráveis, visando grandes lucros a curto prazo, acaba por degradar os solos que a natureza demorou milhares de anos para formar. Em poucos anos os solos tornam-se improdutivos, são abandonados, novas fronteiras agrícolas são conquistadas, expandindo-se sobre áreas de campo, cerrado ou florestas. Esta lógica predadora não se dá conta de que está destruindo um patrimônio, o solo, que não poderá ser recuperado na escala de tempo de muitas gerações humanas. E é este patrimônio que nos supre dos alimentos essenciais à vida.

A região dos Campos Gerais e o Tempo Geológico

Os Campos Gerais do Paraná (Figs. 1 e 2) constituem marcante compartimento geológico-geomorfológico do Estado. Sua existência resulta da convergência de fatores únicos, não reproduzidos nos estados vizinhos: o soerguimento crustal mesozoico representado pelo Arco de Ponta Grossa; o magmatismo básico associado a esse soerguimento, manifesto em um notável enxame de diques

na direção noroeste-sudoeste (Fig. 2B); a exposição de rochas siluro-devonianas da Bacia do Paraná; a inexorável ação do tempo afeiçãoando o relevo a estes fatores precedentes; o domínio de vegetação de campos em consequência dos solos arenosos, relevo e clima (Melo et al. 2007).

Diversos temas que têm sido mencionados com frequência na região dos Campos Gerais nos últimos anos nos remetem à questão do tempo em Geociências, e à constatação de que é necessário compreender os ciclos da natureza, para compreender os efeitos da ação humana, e assim poder disciplinar esta ação de modo a não comprometer as condições de vida no planeta.

Entre estes temas podemos citar:

- o mote “Cenários do tempo” adotado pela Secretaria de Estado do Turismo do Paraná para promover o turismo nos Campos Gerais;
- a idade dos muitos sítios arqueológicos da região, ainda não datados, e que apresentam pinturas rupestres que estão sendo degradadas, muitas vezes, por processos intempéricos naturais das rochas (Fig. 2D), outras pela ação de queimadas provocadas ou ainda pela intencional depredação;
- a idade das furnas do Parque Estadual de Vila Velha e vizinhanças (Fig. 2C);
- o tempo necessário para poluentes superficiais contaminarem as águas subterrâneas do Aquífero Furnas (Fig. 3).

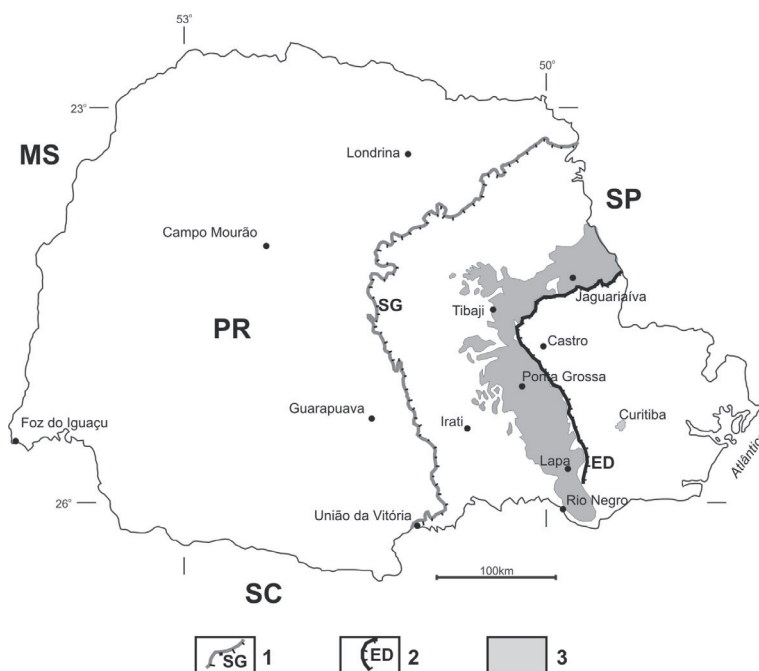


Figura 1. A região dos Campos Gerais do Paraná. 1: Serra Geral; 2: Escarpa Devoniana; 3: extensão dos Campos Gerais (Melo et al. 2007)

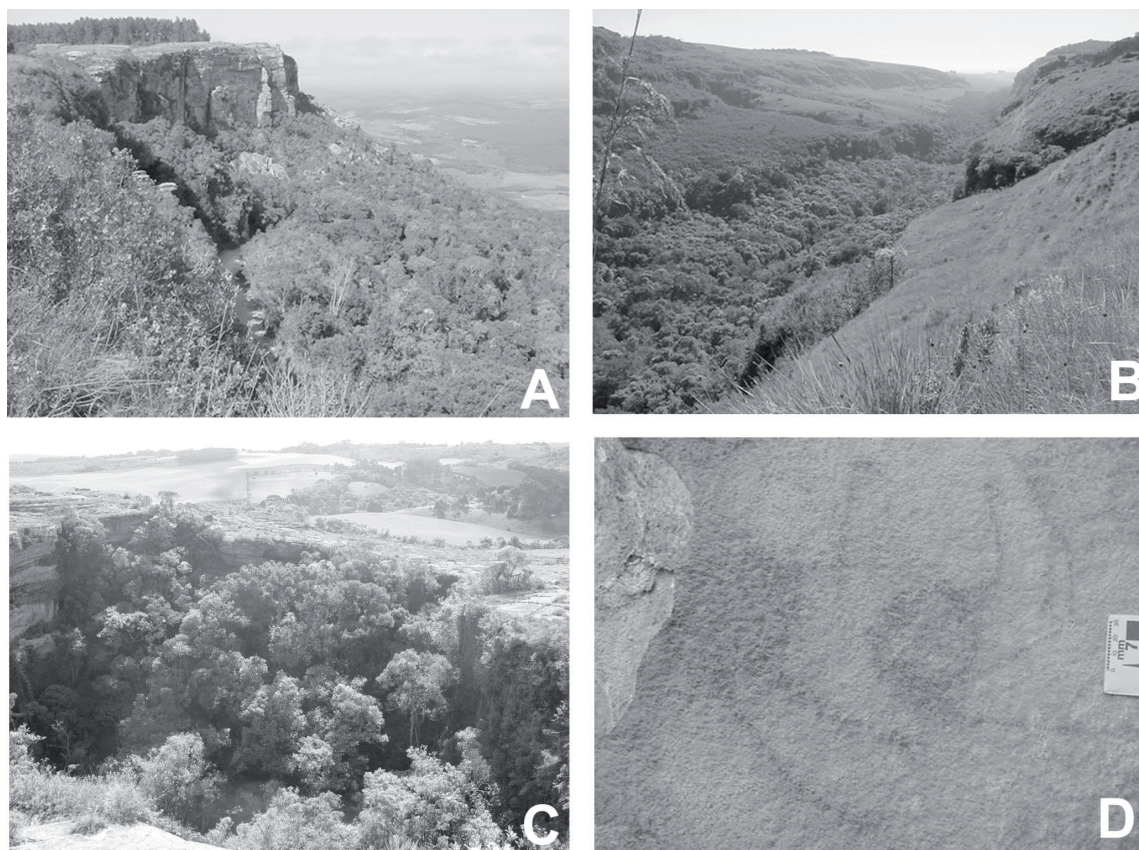


Figura 2. Alguns aspectos da região dos Campos Gerais do Paraná. A. Escarpa Devoniana no município de Sengés; B. Canyon do Rio Palmeirinha, encaixado em dique de diabásio, município de Piraí do Sul; C. Uma das Furnas Gêmeas, localidade de Passo do Pupo, município de Ponta Grossa; D. Pintura rupestre (duas supostas emas) em arenitos da Formação Furnas com descamação natural na borda esquerda da foto, localidade do Sumidouro do Rio Quebra-Perna, município de Ponta Grossa

Estes últimos dois temas, embora possa não parecer, estão estreitamente relacionados. Qual a idade das furnas de Vila Velha, assim como das tantas furnas da região? As furnas também são interpretadas como o abatimento do teto de grandes cavidades subterrâneas, mas neste caso desenvolvidas nos arenitos da Formação Furnas (Maack 1956). Ainda que possam ser feitas especulações com base em correlações geomorfológicas, não se sabe ao certo a idade das furnas (Melo 2006). Mas elas não devem ser muito antigas, ou não estariam mais aparecendo como grandes depressões no relevo, devido ao constante trabalho de erosão das encostas e assoreamento das depressões. Furnas mais antigas já devem estar preenchidas por sedimentos, e aparecem hoje no relevo como lagoas ou discretas depressões. Então pode-se perguntar: é possível que a atividade humana seja capaz de desenvolver uma furna?

A resposta pode vir da analogia com outras situações comparáveis. Em Cajamar, na Grande

São Paulo, em 1986 abateu-se uma dolina (desabamentos do terreno com forma circular; no sentido original, referem-se ao desabamento do teto de cavidades subterrâneas formadas em rochas carbonáticas, graças à corrosão de seus minerais, solúveis sob certas condições) levando com ela residências e ruas, em consequência do bombeamento de água subterrânea por poços profundos (Prandini et al. 1987). Na Região Metropolitana de Curitiba (Almirante Tamandaré, Colombo) a SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) teve de considerar a possibilidade de desativar poços de águas subterrâneas utilizados para abastecimento público devido a abatimentos do terreno e formação de dolinas (Cabral et al. 2006). Estes dois casos exemplificam o que pode ocorrer quando se exploram aquíferos cársticos, isto é, em rochas carbonáticas. A exploração acelera a dinâmica da água subterrânea, o que intensifica a erosão subterrânea, e feições que demorariam muito tempo para se desenvolver acontecem com muito mais rapidez.

A Formação Furnas é um arenito, e não uma rocha carbonática, mas pelo fato de também apresentar processos de dissolução de minerais, tem sido considerada um aquífero cárstico (Melo & Giannini 2007, Melo et al. 2011). Outros fatores concorrem para o desenvolvimento das cavidades subterrâneas na Formação Furnas:

- a ocorrência de muitas falhas e fraturas que influenciam a dinâmica da água subterrânea;
- a existência de fortes gradientes hidráulicos em consequência de topografia acidentada;
- a localização geográfica favorecendo climas predominantemente úmidos ao longo do tempo;
- o carste subjacente, isto é, rochas carbonáticas no embasamento dos arenitos, observado em alguns locais.

Em outras palavras, é preciso tomar muito cuidado, e ter legislação específica que controle a extração da água do Aquífero Furnas, muito utilizado na região de Ponta Grossa e Carambeí. Não são conhecidos relatos da observação (em tempo real) do fenômeno de abatimentos do terreno do tipo furna. Mas na furna do Buraco do Padre (Melo et al. 2009) são descritas observações de fenômenos atuais de mudanças do curso subterrâneo do Rio Quebra-Pedra (Pontes et al. 2010).

Já que estamos falando da extração de água subterrânea em aquíferos, como é o caso da Formação Furnas, devemos mencionar a questão da diferença de escala de tempo entre a possível contaminação e descontaminação de um aquífero. A contaminação pode ocorrer rapidamente, condenando o aquífero. Ela pode acontecer seja a partir das áreas de recarga, onde as rochas do aquífero estão na superfície do terreno, recebendo a água das chuvas, dos rios e eventualmente de efluentes, seja por meio da perfuração de poços mal projetados, que funcionam como caminho da poluição. A água poluída rapidamente penetra no aquífero, ocupando os vazios, em parte em consequência do bombeamento realizado pelos poços profundos. E passa a constituir um volume de água degradada, não apropriada para o uso, que demora muito tempo, além da escala de vida humana, para ser totalmente retirado do aquífero. Na maioria dos casos, não é possível recuperar um aquífero poluído. Por este motivo, devem-se adotar políticas públicas que protejam os aquíferos de possíveis agentes poluidores. No caso de Ponta Grossa (Fig. 3) e Carambeí, é urgente que se definam políticas públicas para proteger o Aquífero Furnas (Melo 2009).

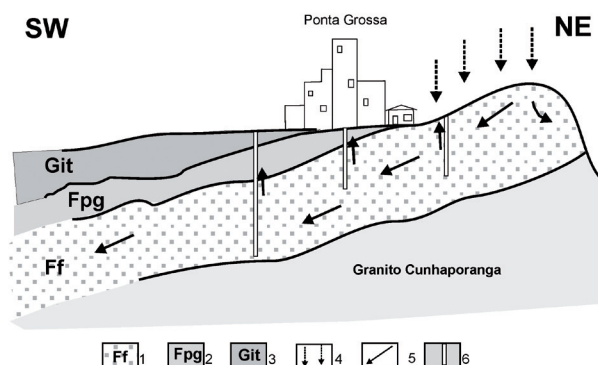


Figura 3. Seção esquemática da situação da cidade de Ponta Grossa em relação ao Aquífero Furnas e à Escarpa Devoniana. 1) Formação Furnas (Aquífero Furnas); 2) Formação Ponta Grossa; 3) Grupo Itararé; 4) Área de recarga do Aquífero Furnas pelas águas das chuvas; 5) Sentido predominante de fluxo das águas subterrâneas; 6) Poços tubulares profundos

O tempo na evolução das ciências

Mas quando falamos de tempo em Geociências, talvez o tema mais instigante seja a história da teoria da Tectônica de Placas, atualmente aceita consensualmente para explicar a dinâmica interna do Planeta Terra, responsável pela configuração dos continentes, oceanos, cadeias de montanhas, regiões com vulcanismo e terremotos, ocorrência de tsunamis e tantos outros fenômenos associados. Em 1912, Alfred Wegener, um jovem cientista alemão então com 32 anos de idade, defendeu num encontro de geocientistas uma teoria revolucionária perante a ortodoxia da comunidade científica da época (ver a respeito, por exemplo, Lavina 2010). Reunindo argumentos de diversas naturezas (ajuste dos continentes, evidências paleoclimáticas, distribuição de fósseis, diferenciação de espécies, semelhanças entre rochas e estruturas geológicas), Wegener postulou que os continentes estiveram juntos um dia, estão se separando, e voltarão a se juntar no futuro. Sua teoria foi ridicularizada por muitos, pois Wegener falhou em explicar a origem das forças colossais necessárias para mover os continentes. Mesmo assim ele publicou em 1915 o livro “A origem dos continentes e oceanos”. Interessante lembrar que os primeiros registros comentando o intrigante ajuste entre a África e a América do Sul são atribuídos a Francis Bacon, feitos no início do século XVII, logo após o advento das grandes navegações que permitiram elaborar os primeiros mapas-múndi.

Depois da publicação da teoria de Wegener, o século XX assistiu a um fervilhar científico, em grande parte impulsionado por tecnologias aperfeiçoadas durante as guerras mundiais. Foram desenvolvidas técnicas que permitiram mapear os fundos oceânicos, e assim descobriram-se as cadeias meso-oceânicas e a complexa estrutura do fundo do mar. Tornou-se possível mapear o paleomagnetismo das rochas do fundo oceânico utilizando-se magnetômetros, construíram-se submarinos capazes de descer a grandes profundidades e lá registrar as manifestações vulcânicas, aperfeiçoou-se a datação geocronológica por isótopos instáveis e, na década de 1960, iniciou-se o lançamento de satélites capazes de mapear com precisão a constituição da superfície do Planeta Terra e seus deslocamentos, bem como o fluxo de energias invisíveis aos olhos humanos, como a energia geotérmica, anômala nas áreas ativas do planeta. Apesar da resistência de muitos geocientistas à teoria de Wegener, foram sendo produzidas inúmeras novas evidências que lhe davam sustentação.

Assim, nas décadas de 1950 e 1960, a antes ridicularizada teoria de Wegener consolidou-se e tornou-se consenso no meio científico. E a teoria hoje é fundamental, pois fornece, por exemplo, apoio para modelos prospectivos de recursos minerais e energéticos, e é base para ações visando minimizar o efeito de fenômenos naturais catastróficos, como terremotos, tsunamis e vulcões (Takeuchi et al. 1974).

Mas dois fatos foram essenciais para a aceitação da teoria. O primeiro foi a retomada da teoria das células de convecção no manto superior abaixo da litosfera rígida, região denominada astenosfera. Ela teria comportamento dúctil, isto é, sob tensão pode deformar-se sem romper, pois encontra-se a altas temperaturas e pressões. A litosfera, diversamente, tem comportamento rúptil, isto é, é rígida, e sob tensão se rompe, e assim origina os terremotos. Aliás, mais recentemente tem-se advogado que todo o manto tem comportamento dúctil, e que o termo “astenosfera” estaria fadado ao desaparecimento (Anguita 2001).

A astenosfera funcionaria como correias transportadoras dos continentes, através de lentos movimentos laterais, da ordem de centímetros por ano. A astenosfera é sólida, e estes lentos movimentos só são possíveis se admitirmos que ela se comporte como um sólido dúctil, isto é, que flui, mas que tem alta viscosidade, e o fluxo é extremamente lento, se comparado à escala de tempo humana. Estas cor-

rentes de convecção da astenosfera são alimentadas por fluxos de energia térmica decorrentes do calor residual e de reações nucleares no interior do planeta.

Aceitando-se este conjunto de hipóteses, estaria assim explicada a origem dos movimentos das placas tectônicas. E Wegener, como tantos outros ao longo da história, passou a ser considerado de louco, enquanto ainda era vivo, a visionário, depois que sua ousada teoria passou a ser aceita, o que só ocorreu após a sua morte (que sucedeu em 1930).

A percepção relativa do tempo pelo ser humano

A questão das correntes de convecção e a deformação dúctil da astenosfera coloca-nos uma questão de escala de tempo interessante: o ser humano é capaz de observar a água fluindo, ou mesmo outros fluidos mais viscosos, como a lama, a lava de um vulcão. Mas não nos damos conta do fluxo de substâncias amorfas, como o vidro, por exemplo. Houve quem afirmasse que placas de vidro verticais em vitrais das catedrais milenares na Europa estão hoje mais alargadas na base do que no topo, em consequência do fluxo do vidro para baixo, em resposta à ação da gravidade, ao longo dos séculos. Ele permaneceria no estado sólido à nossa percepção, mas estaria fluindo, muito lentamente.

Se a afirmação acima fosse verdadeira, o vidro, uma substância amorfa (sem estrutura cristalina definida) poderia ser considerado líquido por nós, caso tivéssemos tempo suficiente para observá-lo escorrendo. Se pudéssemos, num filme hipotético, repassar todo o tempo necessário para o vidro fluir, condensado em poucos segundos, veríamos literalmente o vidro escorrendo, como um líquido. O mesmo se dá com outros materiais que nos parecem sólidos, como é o caso da parafina, do sal das camadas geológicas e do material basáltico na astenosfera.

Então, o conceito de estado, é um conceito relativo à nossa percepção de tempo. No caso do vidro, estudos recentes têm apontado que na verdade o tempo necessário para que fosse possível constatar seu fluxo à temperatura ambiente ultrapassaria em muito a idade das catedrais mais antigas. Entretanto, o fluxo do sal das camadas geológicas, por exemplo, que também é extremamente lento em relação à escala de tempo humana, foi responsável pela formação de muitas das armadilhas onde se acumulam hidrocarbonetos (petróleo, gás), permitindo sua exploração econômica.

O conservadorismo humano e as mudanças no conhecimento

O segundo fato essencial para a aceitação da teoria da Tectônica de Placas coloca uma questão ainda mais significativa envolvendo o conceito de tempo em Geociências e nas ciências como um todo. Transcorreram cerca de 50 anos desde a apresentação da teoria de Wegener e o seu reconhecimento. Além das inovações tecnológicas, da aquisição de novos dados e do aperfeiçoamento de teorias subsidiárias, este tempo foi suficiente para que toda uma geração de geocientistas ortodoxos do início do século XX fosse substituída por uma nova geração. Esta nova geração já foi educada com o conhecimento daquela ‘esdrúxula’ teoria de um irreverente jovem pesquisador. Mas cresceu com o questionamento lançado no início do século XX pela firmeza e brilhantismo dos argumentos de Wegener. Isto foi fundamental para que se perguntassem se a teoria poderia ter validade, e procurassem verificá-la e aperfeiçoá-la.

Então, os novos conhecimentos vão sendo construídos ao longo do tempo, mas também é necessário algum tempo para que eles sejam aceitos pela comunidade científica e, enfim, pela humanidade.

O pulsar da Terra

Hoje os geocientistas aceitam consensualmente que o Planeta Terra vive ciclos sucessivos de separação e reagrupamento dos continentes, desde há cerca de três bilhões de anos atrás, quando se individualizaram a parte externa rígida e seu substrato dúctil (Condie 1997). Como se o planeta respirasse, ou tivesse pulso, tal qual os organismos vivos. E este é só um de inúmeros pulsos já conhecidos, cujos períodos variam da ordem de minutos a bilhões de anos.

E como fica a humanidade neste pulsar? Como se sabe, em qualquer movimento ritmado, o descompasso é inaceitável, conduz a embates que resultam em dispêndios críticos de energia, que normalmente levam ao colapso do sistema descompassado e a novos rearranjos, em busca de novo equilíbrio.

Então, é bom que saibamos entender e aceitar o pulsar da Terra e o seu ritmo, e nos adaptemos a ele, adequando nosso próprio ritmo. E que tenhamos muita sabedoria para eventualmente transformar tais ritmos em nosso benefício, sem gerar descompassos.

Agradecimentos

O autor agradece a Celso Dal Ré Carneiro, por oportuna revisão e sugestões ao manuscrito.

Referências

- Anguita F. 2002. Adiós a la astenosfera. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, **10**(2):134-143.
- Cabral J.J.S.P., Santos S.M., Pontes Filho I.D.S. 2006. Bombeamento intensivo de água subterrânea e riscos de subsidência do solo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **11**(3):147-157.
- Condie K.C. 1997. *Plate tectonics and crustal evolution*. Oxford, Boston: Butterworth-Heinemann. 282p.
- Lavina E.L. 2010. Alfred Wegener e a revolução Copernicana da geologia. *Rev. Bras. Geoc.*, **40**(2):286-299.
- Maack R. 1956. Fenômenos carstiformes de natureza climática e estrutural de arenitos do Estado do Paraná. Curitiba: *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, **11**:151-162.
- Matallo Júnior H. 2001. *Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas*. Brasília: UNESCO. 80p. (Edições UNESCO Brasil).
- Melo M.S. 2009. Aquífero Furnas: urgência na proteção de mananciais subterrâneos em Ponta Grossa, PR. In: Seminário Internacional “Experiências de Agendas 21 - Desafios do Nosso Tempo”. *Anais*, Curitiba. 11p. (ISSN: 2177-0379). URL: http://www.eventos.uepg.br/seminariointernacional/agenda21parana/trabalho_cientifico/Trabalho-Cientifico006.pdf. Acesso: 07/11/2011.
- Melo M.S. 2006. *Formas rochosas do Parque Estadual de Vila Velha*. Ponta Grossa: Editora UEPG. 145p.
- Melo M.S., Giannini P.C.F. 2007. Sandstone dissolution landforms in the Furnas Formation, southern Brazil. *Earth Surface Processes and Landforms*, **32**:2149-2164.
- Melo M.S., Moro R.S., Guimarães G.B. 2007. Os Campos Gerais do Paraná. In: Melo M.S., Moro R.S., Guimarães G.B. (Orgs.). Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná. Ponta Grossa: Editora da UEPG. p.17-21.
- Melo M.S., Guimarães G.B., Pontes H.S., Massuqueto L.L., Pigurim I., Bagatim H.Q., Giannini P.C.F. 2011. Carste em rochas não-carbonáticas: o exemplo dos arenitos da Formação Furnas, Campos Gerais do Paraná/Brasil e as implicações para a região. Campinas, SBE, *Espeleo-Tema*, **22**:81-97.
- Melo M.S., Lopes M.C., Boska M.A. 2009. Furna do Buraco do Padre, Formação Furnas, PR. Feições de erosão subterrânea em arenitos devonianos da Bacia do Paraná. In: Winge M., Schobbenhaus C., Souza C.R.G., Fernandes A.C.S., Berbert-Born M., Queiroz E.T., Campos D.A. orgs. 2009. *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. v. II. Bra-

- sília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. v. II, p. 46-56.
- Pontes H.S., Rocha H.L., Massuqueto L.L., Melo M.S., Guimarães G.B., Lopes M.C. 2010. Mudanças recentes na circulação subterrânea do rio Quebra-Pedra (furna do Buraco do Padre, Ponta Grossa, Paraná). Campinas, SBE, *Espeleo-Tema*: Campinas, SBE, **21**(1):7-16.
- Prandini F.L., Ponçano, W.L., Dantas, A.M.A., Jacinto M.C. 1987. Cajamar - carst e urbanização: A experiência internacional (síntese bibliográfica). In: CBGE, 5, 1987, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABGE. v.2, p. 431-442.
- Salgado-Laboriau M.L. 1994. *História ecológica da Terra*. São Paulo: Ed. Blucher. 307p.
- Suguo K, Angulo R.J., Carvalho A.M., Corrêa I.C.S, Tomazelli L.J., Willwock J.A., Vital H. 2005. Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. In: Souza C.R.G., Suguo K., Oliveira A.M.S., Oliveira P.E. orgs. 2005. *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos. p.114-129.
- Takeuchi H., Uyeda S., Kanamori H. 1974. *A Terra, um planeta em debate*. São Paulo: Edart-EDUSP. 191p.