

# Teorias sobre evolução tectônica dos continentes (resumo)

Celso Del Ré Carneiro  
Benjamim Bley de Brito-Neves

## Princípios adotados no estudo dos continentes

A Tectônica é o campo de estudo da arquitetura e evolução do planeta Terra, desde a sua formação, há 4,6 bilhões de anos (usa-se a sigla 4,6 Ga). Nesse campo das Geociências, o passado terrestre é reconstituído com base no conhecimento que o geólogo obtém sobre as rochas e processos naturais, principalmente aqueles cuja origem está nas forças do interior da Terra (forças endógenas), responsáveis pelas feições presentes nas formações rochosas. Muitos deles podem estar atuando no presente, mas não o fazem de maneira diretamente observável, quer por estarem fora do alcance dos nossos sentidos e instrumentos, quer pela extrema lentidão com que se desenvolvem.

A grande arma do geólogo é o estudo da crosta continental. A crosta terrestre que compõe os continentes é a detentora de informações essenciais sobre o passado terrestre anterior a 200 milhões de anos. Determinações feitas por meio de métodos muito precisos (baseados no decaimento radioativo de certos elementos) em rochas da parte mais antiga do assoalho atual dos oceanos, mostram idades nunca superiores a isso. Em outras palavras, os fundos oceânicos não nos podem informar sobre eventos ocorridos há mais tempo.

A partir dessa matéria-prima e com raciocínio específico, o geólogo trabalha com magnitudes de tempo da ordem de milhões de anos e espaços territoriais que oscilam desde a escala submicroscópica até cadeias montanhosas de milhares de quilômetros. É inevitável lançar-se mão de hipóteses e teorias, que vão sendo progressivamente testadas e alteradas com o progresso dos conhecimentos geológicos.

Diversas teorias gerais sobre a natureza nortearam o pensamento hu-

mano através dos tempos. Preponderou inicialmente a doutrina do *imobilismo*, cuja expressão marcante foi a corrente dos *netunistas*, quecreditava numa crosta eternamente imutável, as rochas todas, exceto às vulcânicas recentes, seriam originárias da deposição de um antigo oceano universal. Sucedeu-a o *catastrofismo*, que admitia a mutabilidade da crosta, mas segundo transformações violentas, repentinas e descontínuas, produzidas por desconhecidas causas supranaturais (divinas). Como reação, surgiu, inicialmente, a escola vulcanista, que propunha a origem progressiva da crosta através de fenômenos essencialmente vulcânicos. No final do século XVIII, assistiu-se à intensa disputa entre essas três doutrinas. Com o aparecimento do *uniformitarismo*, que propunha a transformação lenta e gradual da crosta ao longo dos tempos por meio de processos que se repetiram até o presente, a maioria dos vulcanistas veio alinhar-se com esta nova corrente, na polêmica que se travou nas primeiras três décadas do século XIX. O debate somente mudou de rumos no século XX, com a descoberta da radioatividade, que permitiu o desenvolvimento dos chamados métodos radiométricos para determinação do tempo geológico. Essa ferramenta permitiu colocar muitos "pontos nos is", traçando-se uma história devidamente vinculada a uma escala absoluta (e real) de tempo.

Nesse contexto, a Geologia assume um caráter de ciência de síntese, integrado o conhecimento humano no que diz respeito às ciências naturais. Já na segunda metade do século XIX, Sir Archibald Geikie sintetizou as idéias uniformitaristas no seguinte enunciado: "O presente é a chave do passado." A expressão, das mais difundidas, foi considerada a sua expressão mais radical, provocando muita polêmica.

Surgiram restrições graças a novos conhecimentos geológicos, que assinalavam mudanças radicais nas condições vigentes no ambiente terrestre ao longo do tempo geológico (por exemplo, modificações significativas na composição da atmosfera terrestre, aparecimento e expansão

da vida, etc.) que, por sua vez, deveriam ter provocado a interrupção de alguns processos e surgimento de outros. Cabe registrar o atual interesse pelo estudo das mudanças climáticas globais, resultantes de processos ativos (efeito estufa, camada de ozônio, etc.) na derradeira etapa, comparativamente muito curta, desse longo processo evolutivo.

Foi nesse contexto de idéias que veio aumentando a consciência de que o aspecto mais importante da história geológica é nunca repetir exatamente a si mesma. Os eventos, no sentido histórico, envolvem fatores tão complexos que em geral possuem baixa probabilidade de repetição. O uniformitarismo cedeu lugar ao conceito de *Atualismo*, que admite que as leis naturais são invariáveis e que esta noção constitui a única forma eficaz de se retroceder no tempo e estudar o passado da Terra.

## A Tectônica de Placas e sua sucessora a Tectônica Global

Nas últimas três décadas houve grande progresso nos conhecimentos geológicos das áreas continentais e principalmente sobre os fundos oceânicos, levando ao desenvolvimento de teoria sobre a evolução tectônica da crosta, a chamada Tectônica de Placas.

O fundo oceânico mostra um padrão "zebrado" e simétrico de idades e propriedades magnéticas de rochas, em relação ao eixo das cadeias medio-oceânicas. As idades das rochas vulcânicas apresentam distribuição progressiva, das mais novas para as mais antigas, a partir de um eixo central (Figura 1). O vulcanismo atual coincide com o eixo das cadeias, favorecido por fraturas da crosta oceânica no interior das placas e zonas de elevado fluxo de calor proveniente do manto. Nos continentes, o vulcanismo concentra-se em cinturões de movimentação orogênica mais moderna que, juntamente com os tremores de terra, assinalam as zonas ativas limítrofes das placas atuais.

Os condicionantes fundamentais dos fenômenos geológicos, em todas

as escalações, envolvem de modo irreversível e inexorável. Em Geotectônica, os motores interno (calor do interior da Terra) e externo (ações e interações do trinômio atmosfera-biosfera-hidrosfera) modificam-se desde os primórdios da história do planeta. Ainda assim, a observação dos processos geológicos atuais é a maneira mais confiável para entender o encadeamento e o desenlace dos fenômenos primitivos.

Aplicada ao passado terrestre, a teoria explica como se instalaram os cinturões orogênicos modernos (nome usual das cadeias de montanhas) nas zonas de encontro de placas litosféricas, associados a vulcanismo, espessas seqüências de sedimentos dobrados e metamorfizados, além de depósitos detritícios provenientes da erosão das cadeias montanhosas em soerguimento.

**A Tectônica Global** — Uma característica inexplicável da era geológica mais antiga, o Arqueano (anterior a 2,5 Ga), é a alta velocidade de certos processos (inexcedida em tempos posteriores).

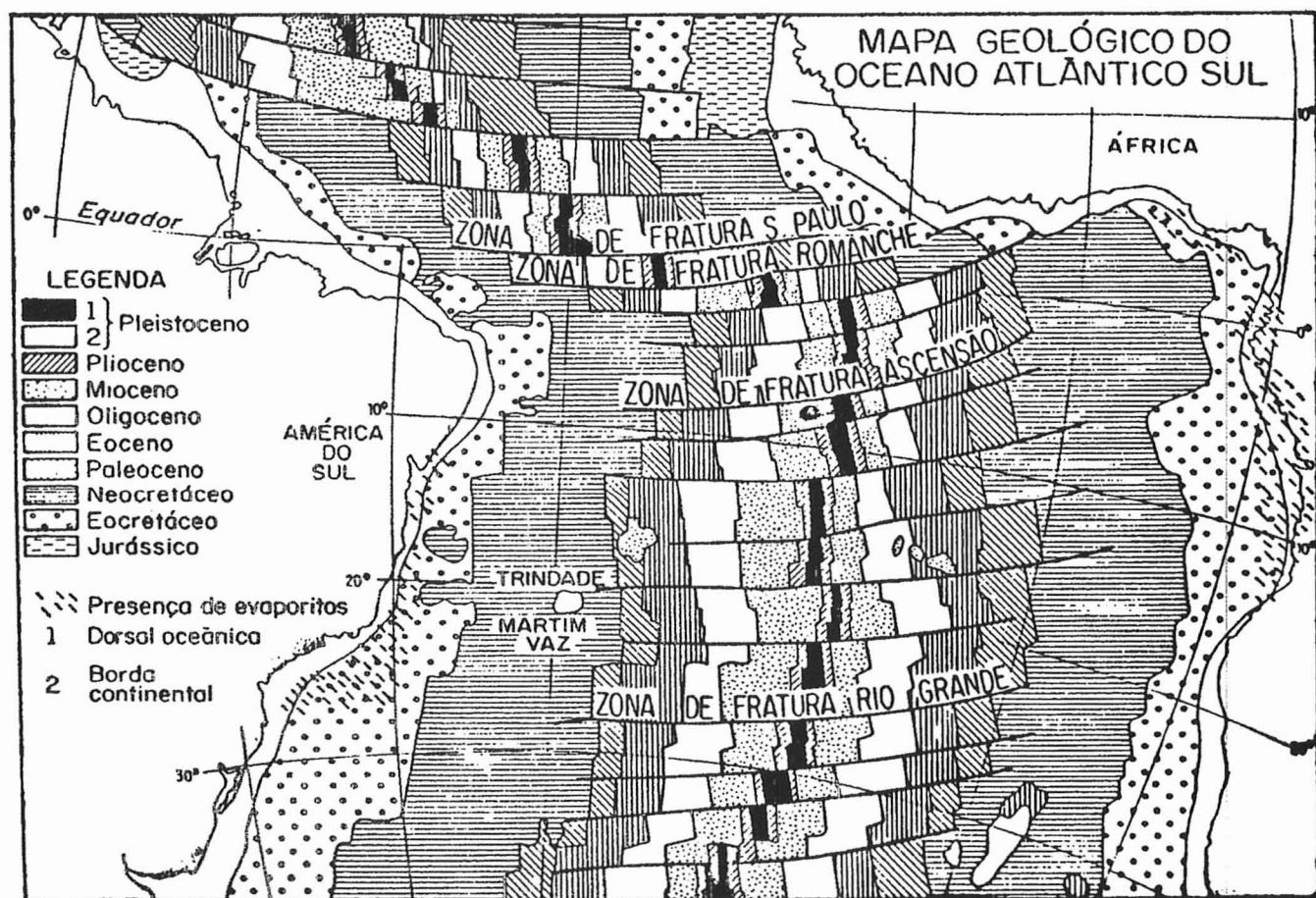
como na formação e destruição das primeiras células de crosta continental. Sob condições de arrasto viscoso de rochas da crosta terrestre para o manto, esta grande mobilidade não permite vislumbrar algum segmento crustal estável. As reconstruções estruturais que caracterizam o Arqueano de todo o mundo jamais se repetiram integralmente e os cinturões proterozóicos análogos, quanto mais jovens, mais distintos se tornam.

Nas demais eras do tempo geológico, que são o Proterozóico (Inferior, Médio e Superior) e Fanerozóico, a situação é menos crítica em termos de velocidade e resultado de processos. Cada um deles mostra uma somatória de caracteres próprios e intransferíveis, que constitui objeto de pesquisa em diferentes continentes. A Figura 2 mostra um exemplo de colisão continental que explica a origem das cadeias montanhosas da Córsega e dos Apeninos, no Mediterrâneo. O choque de massas litosféricas (crosta e parte superior do manto terrestre) provocou deformações e influxo de material da astenosfera, que é a camada abaixo da litosfera terrestre.

O modelo de Tectônica Global (introduzido a partir da Tectônica de Placas dos anos 60 e 70) é enriquecido pela perspectiva de tempo (acima discutida), pela concepção das variações naturais das dinâmicas interna e externa. Recebeu o incremento de hipóteses auxiliares e adendos, frutos de um contexto multidisciplinar de observação. É, pois, uma teoria absolutamente atual, que vem sendo gradativamente aquinhada e aprimorada por várias frentes de investigação.

A Técnica Global é aplicável a todos os intervalos geológicos, respeitadas as particularidades dos estágios evolutivos mencionados (leis físicas imutáveis, velocidades e condições distintas dos processos geológicos com o tempo). Muitas feições particulares, exigindo explanação, foram reconhecidas nestas últimas três décadas e vários adendos foram formulados, mas é difícil organizar esquemas substitutivos convincentes.

As reconstruções da origem das montanhas e continentes possuem limitações, pois na maior parte das vezes baseiam-se num conhecimento



**Figura 1 — Mapa geológico do Oceano Atlântico Sul, segundo Freeman-Lynde & Sharp (1981)**

mento insuficiente (escala de reconhecimento), o registro disponível é incompleto ou mal preservado, ou incidem ambos os fatores.

Com os conhecimentos atuais, é preferível testar rigorosa e criteriosamente a exeqüibilidade de variantes, pois o modelo de Tectônica Global permanece forte e plausível três décadas após sua formulação e após todos os adendos que sofreu, mas estará sempre sujeito à pressão da pesquisa no sentido de testá-lo.

Sua utilidade vai além do campo teórico, pois permite estabelecer:

- padrões de mineralização válidos para diferentes partes do globo.
- regimes de estabilidade crustal e suas implicações nos padrões de atividade sísmicas e vulcânica atuais.
- ambientes e condições de sedimentação pretérita, orientativos para prospecção de petróleo e gás.
- condições de fluxo de calor interno da Terra, que permitem o aproveitamento de fontes energéticas renováveis, como os chamados fluidos geotermais.

Para o Brasil, todas essas aplicações são relevantes. Ao menos no que se refere a petróleo e gás, pode-se dizer que importantes avanços foram obtidos. Comparando-se com a realidade vivenciada no resto do mundo desenvolvido, esse progresso é ainda pequeno, dado o potencial inimaginável de aplicações. O esforço de pesquisa nos demais campos ainda está em nível incipiente e incompatível com as dimensões territoriais do país.

## Conclusões

A Tectônica Global rejeita a corrente de opinião que prega uma uniformidade absoluta dos processos naturais, mas se utiliza largamente do atualismo, que constitui um método essencial para qualquer trabalho geológico (as leis da natureza são invariáveis).

Recrudesceu o conceito de transformações evolutivas nos processos formadores de montanhas e continentes, bem como nos modelos elaborados para explicá-los. Nessa con-

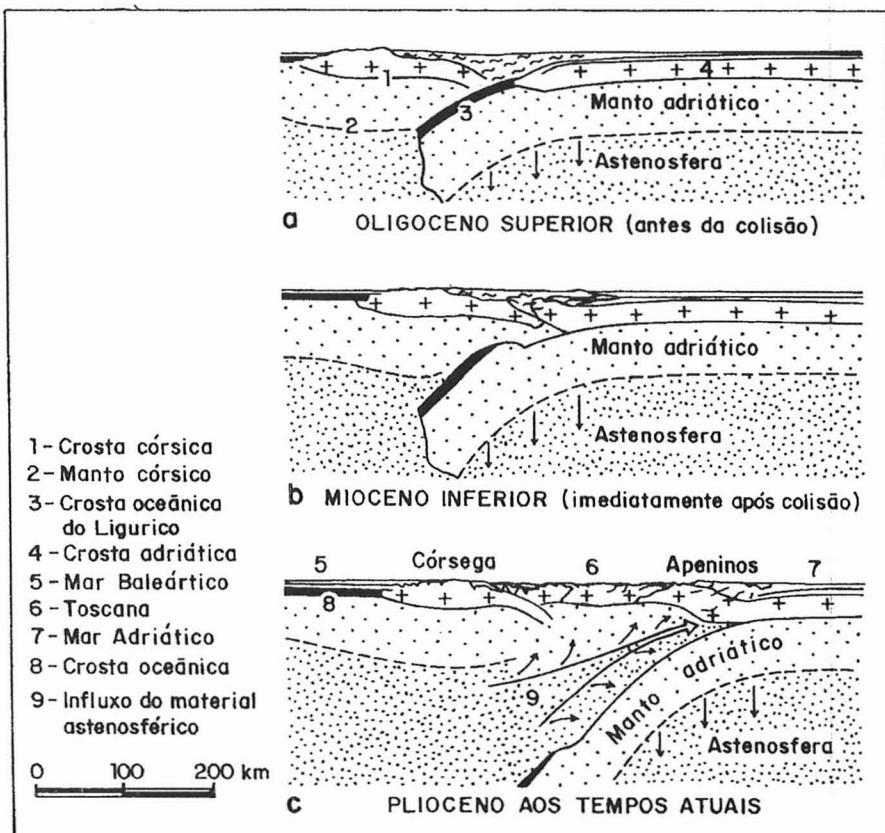


Figura 2 — Seções esquemáticas através de uma zona de colisão continental que originou as cadeias de montanhas dos Apeninos e de Córsega

cepção, que vem sendo construída desde o final do século XIX, os processos podem guardar analogias notáveis, mas há diferenças importantes nas velocidades de atuação, no condicionamento dos agentes internos e externos, devidas ao crescimento e às modificações na litosfera e na estrutura interna do planeta.

O respeito ao atualismo e à evolução irreversível em espiral dos processos geológicos são a tônica dominante. Evidentemente, nenhum modelo, seja de Tectônica Global ou não, deverá ter exclusividade *a priori*. Todo modelo que se enquadrar no processo de como a Terra realmente opera, de forma consistente e fisicamente bem subsidiado pode ser adotado, desde que explique as observações de campo e de laboratório.

A utilidade prática dessa nova forma de se entender o planeta é tão ampla e variada que alguns estudiosos chegaram a afirmar que, nesta segunda metade do século XX, estaríamos diante de uma revolução científica comparável à ocorrida nas ciências biológicas quando da publicação dos monumentais trabalhos de Charles Darwin, em meados do século passado.

## Sugestões para leitura

- AVANZO, P.E. (1974) Geociências. Uma Nova Maneira de Ver a Terra. Geologia, Ciênc. Técn., São Paulo. CEPAGE
- CARNEIRO, C.D.R. & ALMEIDA, F.F.M. de 1989. Vulcões no Brasil. Ciência Hoje, 11(62). 29-36.
- FREEMAN-LYNDE, R & THARP, M. (1981) Atlantic Ocean. In Commission for the Geological Map of the World. Geological World Atlas. Paris CGMW/Unesco.
- MIOTO, J.A. & HASUI, U. 1989. Continentes à Deriva. Ciência Hoje, (15).
- SENGOR, C. 1991. Plate Tectonics and orogenic research after 25 years. Synopsis of a Tethyan perspective. Tectonophysics, 187 (1991). 315-344.
- WINDLEY, B.F. ed. (1976) The early history of the Earth. Amsterdam. Elsevier.
- WINDLEY, B.F. ed. (1984) The evolving continents. 2 ed. Chichester. Wiley 399 p.

Celso Del Ré Carneiro é do IPT — Divisão de Geologia e Recursos Minerais e IG- Unicamp — Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas — Departamento Metalogênese e Geoquímica. Benjamin Bley de Brito-Neves é do IG-USP — Departamento de Geociências da Universidade de São Paulo — Departamento de Geociências Geral.

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS / BIBLIOTECA**  
E-mail: comut@ige.usp.br  
IP: 143.107.76.37  
Fone: (11) 3091-4140

**BIBLIOTECA FORNECEDORA: POLI-MI**

**PEDIDO N. 61/05**

**TÍTULO DA PUBLICAÇÃO:** CARNEIRO, C. D. R. Resumo de teorias sobre a evolução tectônica dos continentes. **Mineração Metalurgia**, v.55, n. 524, p. 30-32, 1992.

**USUÁRIO:** Biblioteca IGc  
**DATA:** 19/10/05