

A importância das Controvérsias Geológicas no Ensino de Geologia: exemplo do Modelo Fixista à Tectônica de Placas

Joil José Celino *
Osmário Rezende Leite *

INTRODUÇÃO

A Teoria da Tectônica de Placas, desenvolvida nos anos 60, sustenta que as maiores feições da superfície da Terra são criadas por movimentos horizontais da litosfera. Tal teoria se destaca pela sua simplicidade, elegância e habilidade para explicar uma enorme gama de observações, tendo sido rapidamente aceita (SENGÖR, 1990). Já em 1971, um autor de um livro de Geologia Introdutória afirmava:

Durante a última década, houve uma revolução nas Ciências da Terra, que resultou na aceitação de que os continentes se movimentam sobre a superfície da Terra e que o assoalho oceânico se “espalha”, sendo continuamente criado e destruído. Finalmente, nos últimos dois ou três anos, culminou com o aparecimento de uma teoria global, conhecida como “Tectônica de Placas”. O sucesso desta teoria se deu porque ela explica as evidências geofísicas e apresenta um modelo no qual se encaixam dados geológicos acumulados durante os últimos 200 anos. Além disso conduziu as ciências da Terra até um estágio onde ela não apenas explica o que aconteceu no passado, mas também o que está acontecendo no presente, o que acontecerá no futuro.

No entanto, no início do século XX, cerca de 40 anos antes da Tectônica de Placas, uma teoria semelhante foi rejeitada pela comunidade geológica. Em 1912, o meteorologista e geofísico alemão Alfred Wegener

* Professores do Departamento de Geologia e Geofísica Aplicada - IGEO-UFBA e do Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências - IF-UFBA

propôs a mobilidade dos continentes, antecipando muitos dos pontos essenciais da Tectônica de Placas. Suas idéias foram reunidas na "Teoria da Deriva Continental" e publicadas em 1915, no seu livro "*The Origin of Continents and Oceans*". Na Inglaterra, as idéias de Wegener conquistaram alguns adeptos, mas nos Estados Unidos ela foi duramente criticada e ridicularizada. Mas, havendo tantas concordâncias entre as idéias de Wegener e as da Tectônica de Placas, por que a Teoria da Deriva Continental foi rejeitada?

O DESENVOLVIMENTO DO PENSAMENTO CIENTÍFICO: Objetivos

Geólogos e historiadores atribuem a rejeição da teoria à falta de um mecanismo causal adequado na teoria de Wegener (HELLMAN, 1999). Porém, evidências históricas demonstram que a Deriva Continental foi rejeitada apesar da existência de explicações plausíveis para os movimentos dos continentes, e que a Tectônica de Placas foi aceita sem estas explicações. Para HALLAM (1985), a principal diferença entre a Deriva Continental e a Tectônica de Placas não está nas teorias em si mesmas, mas na natureza das evidências utilizadas para fundamentá-las. O objetivo deste texto é demonstrar a importância das controvérsias na construção e evolução do conhecimento geológico e da utilização deste enfoque no ensino das Geociências.

A compreensão da evolução do conhecimento científico nas Geociências pode ser enquadrada na epistemologia racionalista (MARQUES, 1996). Desta forma, os pontos de vista de Kuhn, Popper e Lakatos podem ajudar a compreender a substituição das perspectivas fixistas pelas mobilistas, que ocorreu na comunidade científica, hoje expressas na Teoria da Tectônica de Placas.

Um outro ponto a ser debatido se refere ao enquadramento teórico para a interpretação de situações concretas relativas ao desenvolvimento do conhecimento em Geociências com implicações consideradas relevantes para o ensino. Desta maneira, a dimensão epistemológica é útil aos professores, na medida em que permite estabelecer mais facilmente a ponte para a problematização do ensino e a aprendizagem das ciências.

REFERENCIAL TEÓRICO DA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO

Um conhecimento de raiz empirista

No início do Renascimento, o conhecimento científico era passado através de rupturas com o conhecimento de senso comum. Segundo a perspectiva Empirista Baconiana, a experiência e a técnica constituem a

base e o objetivo do conhecimento. Sendo assim, a **ciência** passa a ser conceituada como uma sucessão de observações a partir das quais se alcançam os princípios gerais, através da utilização do pensamento indutivo, que conduz a conhecimentos seguros (PRAIA, 1995).

Com o desenvolvimento das ciências experimentais desembocou-se no positivismo lógico, cujos aspectos característicos são: a) a realidade surge dotada de exterioridade; b) o conhecimento científico é uma representação do real; c) existência da dualidade entre fatos e valores; d) existência de um rechaço evidente da metafísica; e) há uma preocupação real pela unificação da ciência (MARQUES, 1996).

Segundo SOUSA SANTOS (1989) este positivismo lógico materializa a dogmatização da ciência, que passaria a ser: *“um aparato privilegiado da representação do mundo, sem outros fundamentos que as proposições básicas sobre a coincidência entre a linguagem unívoca da ciência e a experiência e observação imediata, sem outros limites que não seja o resultado de um estudo do desenvolvimento dos instrumentos experimentais ou lógico-dedutivo”*.

A perspectiva de natureza racionalista

Uma nova via de entendimento da construção do conhecimento pretende: a) valorizar o referencial teórico prévio à observação; b) defender o pluralismo metodológico; c) mostrar que o avanço do conhecimento ocorre mais por rupturas e descontinuidades do que por vias lineares e acumulativas; d) redimensionar o papel desempenhado pelas situações de erro; e e) destacar a importância que tem o consenso da comunidade científica para a validade do conhecimento.

Os críticos ao empirismo apresentam também diferenças sensíveis quanto à evolução do conhecimento científico. Para Popper (1992), os critérios definidores da evolução são exclusivamente internalistas (por exemplo, lógico-rationais ou empíricos), para outros, como Kuhn (1970), são eminentemente externalistas (por exemplo, sociológicos). Finalmente, Lakatos (1993) manifesta uma perspectiva intermediária. Sendo assim, ao longo do texto será feita uma abordagem central do pensamento de cada um deles.

A TEORIA DE WEGENER

Wegener apresentou sua teoria do deslocamento continental em 1912, no encontro da Sociedade Geológica de Frankfurt. Ele propôs que os continentes “derivam” lentamente sobre as bacias oceânicas, de vez em quando colidindo um com outro e mais uma vez se separando. Em 1926, onze anos após a publicação de seu livro, teve um resumo do mesmo lido numa conferência patrocinada pela American Association of Petroleum Geologists (A.A.P.G.), nos Estados Unidos. Apesar da

mobilidade continental ter sido proposta por vários outros geólogos, dentre eles um americano: Frank Taylor, o tratamento dado por Wegener foi o mais desenvolvido. Os principais aspectos da teoria de Wegener podem ser assim sumariados (HELLMAN, 1999):

1) Os continentes são constituídos de material menos denso que o das bacias oceânicas.

2) O material que compõe o assoalho oceânico também existe sob os continentes, envolvendo a Terra como uma camada contínua, sendo que a diferença de densidade permite que os continentes “flutuem” em equilíbrio isostático sobre o substrato oceânico mais denso.

3) Os continentes são capazes de se deslocar sobre o substrato porque este se comporta, no tempo geológico, como um líquido altamente viscoso.

4) As maiores feições geológicas da terra (cadeias de montanhas, oceanos...) e fenômenos geológicos maiores (terremotos, vulcões) são causados pelo movimento horizontal e interação entre os continentes. Montanhas são formadas por compressão nos bordos de continentes em movimento.

5) Originalmente, toda a Terra era coberta por uma camada fina e contínua de material continental, a qual gradualmente se quebrou em pedaços que foram se espessando por “amontoamento”. Durante o Mesozóico, alguns dos maiores continentes estavam reunidos num grande supercontinente chamado *Gondwanaland*.

Os dois primeiros pontos têm sua fundamentação na Teoria da Isostasia, publicada poucos anos antes. O terceiro ponto, o conceito de deslocamento sobre um substrato, era um conceito geológico já estabelecido, mas não aplicado para explicar grandes movimentos horizontais. Apenas os dois últimos pontos continham realmente algo novo, apesar de Wegener ter emprestado o termo *Gondwanaland* de Suess. Mas enquanto Suess dizia que partes deste supercontinente já haviam “afundado”, Wegener argumentava que todo ele ainda estava entre nós, em pedaços dispersos, constituindo os atuais continentes.

À luz de como se desenvolveria o conhecimento científico, POPPER (1963) supõe que os fundamentos teóricos das Ciências da Terra estão baseados em especulações sensatas, avançadas com muita criatividade e na qual o próprio conhecimento científico é sempre mais susceptível de ser refutado ou modificado do que confirmado e provado.

Assim como na ciência moderna, a atividade de investigação se apresenta como um processo contínuo de aproximação gradual a seus grandes objetivos, independente do que podem ou não alcançar plenamente (LAKATOS, 1970).

O ponto-chave é que o que está em questão são processos dinâmicos complexos e não uma simples adição de conhecimentos que

supõe uma ordenação, preservação e difusão por repetição.

AS EVIDÊNCIAS DA DERIVA

Wegener construiu sua teoria para explicar porque alguns continentes se encaixavam. Os contornos da América do Sul e África, e da Europa e América do Norte eram muito semelhantes e seus encaixes muito bons, para serem apenas uma coincidência. Ele afirmava que os continentes estiveram unidos e se separaram, resultando em formas que se encaixam, em tempos geológicos relativamente recentes. Discrepâncias menores resultariam de deformações durante a ruptura e de incertezas sobre os contornos das plataformas continentais. (Wegener baseou sua reconstrução nas bordas das plataformas continentais, vez que é sabido que as linhas de costa mudam devido a flutuações do nível do mar e/ou processos de erosão/sedimentação).

O encaixe dos continentes foi notado antes, mas Wegener encontrou abundante argumentação para suas idéias através de uma vasta pesquisa na literatura geológica. Ele percebeu que as seqüências estratigráficas mesozóicas descritas na América do Sul e África eram muito similares. Do mesmo modo, complexos ígneos e as direções estruturais apresentavam continuidade quando os continentes se encaixavam. Continuidades comparáveis eram observadas quando se unia a América do Norte à Europa, e a África à Índia. Estes fatos podiam ser usados para determinar a cronologia dos episódios de “junção” e “quebra” continentais, permitindo reconstruir a história da Terra.

Wegener notou ainda que evidências paleontológicas também indicavam que alguns continentes já estiveram juntos: a distribuição da flora *Glossopteris*, dos répteis Mesosaurideos, dos marsupiais, etc. O fato de certas espécies atuais de minhocas serem encontradas nas zonas costeiras de cada lado do Atlântico, também reforça esta idéia, vez que tais animais não nadam nem voam e, nem têm ovos resistentes.

Em 1850, o zoólogo britânico Sclater notou que a ilha de Madagascar não possuía os animais mais comuns da África (macacos, leões, girafas...), mas sim numerosas espécies de lêmures, um animal comum também na Índia. Notou ainda que alguns lêmures de Madagascar eram muito semelhantes a algumas espécies encontradas na Índia. Mas a Teoria da Evolução de Darwin (1860) não apoiava tal possibilidade, pois as espécies eram muito semelhantes para terem evoluído independentemente em locais tão distantes. Para explicar este fato, Sclater postulou a existência de um continente afundado: a Lemúria, que teria unido Madagascar à Índia. Outros paleontólogos também estabeleceram similaridades faunais em continentes atualmente separados por oceanos: Austrália, Índia, África e América do Sul. Estas similaridades já haviam sido usadas por Suess como argumento para a idéia de que partes do supercontinente

("Gondwanaland") teriam afundado.

Outra linha de argumentos utilizada por Wegener foram as evidências paleoclimáticas. As associações fossilíferas do início do Terciário indicam que o clima da Europa era mais quente nesta época do que atualmente. Por outro lado, no final do Paleozóico, houve a deposição de sedimentos glaciais no sul da África e América do Sul, enquanto que na Europa desenvolvia-se uma luxuriante vegetação, indicando diferenças climáticas impossíveis de serem explicadas pelas Teorias Fixistas. O meteorologista Wegener sabia da existência de várias causas possíveis para que ocorra uma mudança de clima, mas argumentava que, sendo a latitude o controlador predominante do clima moderno, a deriva latitudinal seria a melhor explicação para estas mudanças.

DERIVA versus PERMANÊNCIA

Wegener ficou impressionado pela aparente unanimidade dos paleontólogos a respeito das "antigas conexões" (pontes) entre os continentes. Os geofísicos, por seu turno, não concordavam com o "afundamento" de continentes, que contraria os princípios da Isostasia. Aí se configurava um impasse: "A teoria da isostasia nos mostra a impossibilidade de considerar o soalho oceânico atual como continentes afundados... Sendo assim, "a "teoria da Permanência" nos parece a conclusão lógica, a partir do nosso conhecimento geofísico, sem considerar, é claro... a distribuição dos organismos."

Então temos o estranho espetáculo de duas teorias contraditórias sobre a configuração pré-histórica da Terra sendo sustentada simultaneamente - na Europa, uma adesão quase universal à idéia de Pontes Continentais; enquanto que na América, todos aderiram à teoria da permanência de bacias oceânicas e blocos continentais.

Respondendo, Wegener afirmava que os continentes atuais são os únicos que sempre existiram, mas eles se movimentaram horizontalmente. Com suas palavras (WEGENER, 1966):

"Este é o ponto de partida da Teoria da Deriva ou Movimento. A suposição "básica óbvia" comum às teorias das pontes continentais e da permanência - que a posição relativa dos continentes, sem considerar suas coberturas variáveis e águas rasas, nunca se alterou - deve estar errada. Os continentes devem ter se deslocado... Houve "conexões de terra", mas formadas pelo contato entre blocos atualmente separados, mas não por meio de continentes que posteriormente afundaram; há permanência, mas na área do oceano e na área do continente como um todo, mas não para oceanos ou continentes individuais"

Wegener entendeu que ele estava propondo uma teoria de Tectônica, isto é, de movimentos da crosta terrestre, incluindo de

formação de montanhas. Seu livro começa com um ataque à “Teoria de Contração da Terra”. A descoberta do calor radiogênico fê-lo assumir como falsa, a antiga premissa de que a Terra estava esfriando e se contraindo. Com uma fonte interna perpétua de calor, a Terra estaria em equilíbrio térmico, ou talvez até se aquecendo. Assim, a contração termal não podia mais ser considerada como “motor” da tectônica. Os movimentos horizontais (e suas causas) teriam que ocupar este lugar. Qualquer que fosse a causa do movimento dos continentes ela seria também responsável pela formação das montanhas:

“As forças que deslocam os continentes são as mesmas que produzem as grandes cadeias de montanhas dobradas. Deriva continental, falhas e compressões, terremotos, vulcanismo, ciclos transgressivos, deslocamento dos pólos, estão, sem dúvida, relacionados às mesmas causas. A intensificação destes fenômenos em certos períodos da história da Terra mostra que isto é verdade. Mas, o que é a causa e o que é efeito, apenas o futuro irá revelar (WEGENER, 1966).”

Diferentemente dos modelos de Suess e de Dana, a teoria de Wegener podia explicar montanhas nas bordas de um continente ou mesmo no interior dele. A teoria da deriva previa que montanhas podiam se formar nas bordas de blocos continentais, mas também podiam ser encontradas no interior deles, caso em que resultavam do amalgamento de dois blocos que colidiram. Conseqüentemente, as montanhas no interior dos continentes deviam ser mais antigas que as situadas em suas margens. A teoria também previa que as similaridades estratigráficas e fossilíferas estariam restritas às épocas geológicas nas quais os continentes estavam reunidos e finalizariam, de modo relativamente brusco, quando eles se separassem.

Uma conseqüência imediata da teoria da deriva era que se os continentes se movimentaram no passado, eles devem estar se movimentando hoje. Wegener acreditava que teria evidências destes movimentos a partir de medidas feitas por diferentes observadores em expedições na Groenlândia (1823, 1879 e 1907), que teriam revelado um deslocamento ativo da ilha para oeste. O próprio Wegener calculou os seguintes deslocamentos (WEGENER, 1966):

de 1823 a 1870 - 420m (9m/ano); de 1870 a 1907 - 1190m (32m/ano)

Ele utilizou o tempo de transmissão de ondas de rádio para medir os deslocamentos, mas não discutiu as grandes diferenças encontradas, nem a relativa precisão dos dois métodos utilizados (a velocidade das ondas de rádio dependem das condições meteorológicas). Em 1930 ele retornou para a Groenlândia para tentar esclarecer estas ambigüidades e confirmar o deslocamento horizontal, mas morreu durante esta expedição.

A teoria da Deriva Continental tem 3 pontos em comum com a

moderna tectônica de placas: 1) a premissa fundamental da mobilidade horizontal dos fragmentos da crosta terrestre; 2) reconhecimento das diferenças entre crosta continental e oceânica; 3) suposição de uma relação de causa entre os movimentos horizontais e a formação de cadeias de montanhas. Mas existem também diferenças: os continentes se movimentavam independentemente da crosta oceânica; e a teoria da Deriva não explicava como era formada a crosta oceânica.

A REJEIÇÃO DA DERIVA CONTINENTAL

A teoria da deriva continental apresentou uma possível solução para um antigo problema geológico, a formação das cadeias de montanhas. Ao contrário da teoria da contração, a Deriva Continental poderia conciliar as visões conflitantes dos geofísicos e paleontólogos e unificar uma vasta gama de observações estratigráficas, petrológicas, estruturais e paleoclimáticas. Além disso, ela não estava atrelada a qualquer teoria de origem da Terra. Apesar de todos estes pontos positivos, ela foi rejeitada pela comunidade geológica no período de 1920 a 1930.

A explicação usual para a rejeição foi resumida por Press & Siever (1974 *apud* HALLAM, 1985): “O problema com a deriva foi que seus proponentes não apresentaram nenhum “motor” (ou mecanismo) plausível para explicar o movimento dos continentes”.

Mas esta argumentação não resiste a uma análise mais profunda, pois muitos fenômenos científicos empíricos foram aceitos antes que suas causas fossem conhecidas. As glaciações, os cavalgamentos alpinos e as inversões do campo magnético, são exemplos disso.

Longwell (1920 *apud* HALLAM, 1985) argumentou que as evidências eram convincentes, então “os geólogos deviam se contentar em aceitar o fato do deslocamento, e deixar a explicação para o futuro”. Foi exatamente o que aconteceu durante os anos 60: “A aceitação da Tectônica de Placas não é baseada no conhecimento do mecanismo que movimenta as placas”. Outros, acham que a falha estava na ausência de uma adequada base mecânica: “a deriva foi rejeitada porque ninguém visualizava um mecanismo físico que permitisse aos continentes “deslizar” sobre a crosta oceânica aparentemente sólida”.

A teoria de Wegener supôs um mecanismo concebível, que já tinha sido invocado em outras circunstâncias. Ele argumentou que o substrato basáltico sobre o qual estão os continentes, poderia se comportar como um líquido viscoso no tempo geológico, como o vidro pode fluir se sujeito a pequenas tensões durante tempo suficiente. Este conceito era inerente à teoria da isostasia, desde que continentes só poderiam flutuar se o substrato no qual estavam apoiados se comportasse como um fluido. No final do século XIX, a isostasia foi usada para explicar

o levantamento da península escandinava. Diante disso Wegener argumentou que se os continentes podem se movimentar verticalmente, eles também poderiam se movimentar horizontalmente. Assim, o problema de Wegener não era se o substrato poderia se comportar da maneira requerida, mas se as forças disponíveis eram suficientes para impulsionar os continentes sobre ele.

Em seu livro, Wegener propôs que a fricção tidal e efeitos de gravidade diferencial resultantes de pequenas anomalias da forma da Terra, poderiam causar os movimentos dos continentes. A maioria dos geólogos considerava estas forças muito fracas. Holmes (1929 *apud* HALLAM, 1985), lança mão das idéias de Joly (1925 *apud* HALLAM, 1985) sobre fusões periódicas, e propõe um interessante modelo:

“Por razões físicas (isostasia) é impossível se afundar um continente, pelas mesmas razões que não se consegue afundar um iceberg no oceano. Sabemos que locais de áreas consideráveis no Atlântico e Índico estavam antes ocupadas por massas continentais, e desde que estas massas continentais não estão mais lá, somos conduzidos a pensar que este material se movimentou para o lado. Estruturas de cavalgamento alpino também são evidências de movimentos laterais. ... Movendo-se de volta os continentes nas direções indicadas pelas evidências, teremos a reconstrução de um super-continente semelhante ao proposto por Wegener. Disto se conclui que existem agora evidências convincentes de uma antiga deriva continental, numa escala prevista por Wegener”.

Muitos geólogos hesitam em aceitar esta inquestionável e consistente interpretação das rochas, porque não se acredita ser possível a existência de qualquer força gravitacional adequada para mover fragmentos continentais... Admitindo que os continentes se movimentaram, parece não haver outra alternativa senão deduzir que correntes lentas mas poderosas devem ser originadas em subsuperfície, várias vezes durante a história da Terra... estas correntes de convecção podem ser geradas nas camadas inferiores, como resultado de aquecimento diferencial provocado por radioatividade.

Entre 1925 e 1933, Holmes publicou uma série de artigos desenvolvendo seus conceitos e integrando-os a uma teoria de tectônica e petrogenética (HELLMAN, 1999). Nesta teoria, ele explicava diversos fenômenos, tais como a origem das bacias oceânicas e a formação de rochas de alta pressão (como os eclogitos). Ele escreveu:

Nos locais onde correntes ascendentes existem, se formariam bacias disruptivas (resultantes de esforços distensivos). Nestes locais a concentração de calor resultante do processo (de convecção) seria “descarregada” através do desenvolvimento de um novo soalho oceânico... Enquanto isso, a formação de montanhas estaria ocorrendo nas margens continentais ou em locais onde

antigos geossinclinais se desenvolveram... A compressão das partes mais móveis do substrato para formar magmas crustais é uma saída atraente que abre novas perspectivas em petrogênese, e para explicar a origem dos basaltos.

As três importantes teorias acima citadas, a Teoria do "Deslizamento Gravitacional" (Daly), a da "Fusão Subcrustal" (Joly), e a "Convecção Subcrustal" (Holmes), eram coerentes com as propriedades físicas da Terra conhecidas naquela época. Muito embora aceitassem os movimentos horizontais e fornecessem mecanismos possíveis, elas não foram concebidas especificamente como possíveis explicações para os movimentos previstos pela teoria de Wegener. Mas, sem dúvida, elas poderiam ter sido utilizadas para argumentar em favor da Deriva Continental. A partir desta análise, Hallam (1985) concluiu que a Teoria da Deriva não caiu por falta de um mecanismo plausível.

RAZÕES ALTERNATIVAS PARA A REJEIÇÃO DA DERIVA

Alguns dizem que a comunidade geológica não estava preparada para aceitar este tipo de modelo, entretanto, as evidências históricas sugerem o inverso. A queda da teoria da contração face à geração de calor pela radioatividade, o conflito entre isostasia e a teoria das "pontes continentais", e a controvérsia que a teoria de Wegener causou, mostram que já haviam condições para a aceitação de uma nova teoria.

Outra possibilidade: a falha estaria no próprio Wegener. ou seja, que suas deficiências como cientista resultaram no descrédito de sua teoria. Ele era constantemente criticado por sua falta de objetividade, e muitas vezes se expressava de modo despreocupado e sem as devidas precauções. Mas uma linguagem enfática caracterizou os dois lados das discussões, como também iriam caracterizar as discussões sobre Tectônica de Placas, anos mais tarde. Por outro lado, as contribuições de Wegener na Meteorologia e Geofísica eram plenamente reconhecidas, tanto que sua morte foi registrada na revista Nature como uma "grande perda para a ciência".

A causa mais provável para a rejeição da Deriva Continental parece estar nas evidências colocadas para sustentá-la. Esta possibilidade tem sido ignorada, pois consideramos as evidências levantadas por Wegener e sua interpretação como "corretas", porque elas foram validadas pela teoria das Placas Tectônicas. Uma comparação entre os anos 20 e os anos 60 revela um fato importante: a Tectônica de Placas foi fundamentada a partir de evidências completamente diferentes daqueles utilizados para a Deriva. Isto sugere que a diferença essencial entre Deriva e a Tectônica de Placas não está nas teorias em si, mas nas evidências usadas para sustentá-las.

Muitas discussões foram centradas na validade de homologias geológicas (HALLAM, 1985). Evans, do Imperial College, confirmou a

existência de *“similaridades bem conhecidas de formações geológicas em lados opostos dos oceanos”*. Wright colocou que a Deriva poderia explicar porque *“uma comparação crítica das formações dos dois lados do Atlântico Norte mostra uma notável correspondência, tanto estratigráfica como paleontológica, desde o Arqueano até o Cretáceo”* (HALLAM, 1985). A teoria fornece ainda *“uma explicação simples para problemas não resolvidos sobre a glaciação permo-carbonífera”*. Apesar destes e de muitos outros depoimentos, ninguém sugeriu ou afirmou que a teoria tinha sido provada. As homologias eram descritas como *“evidências melhores que as esperadas...”*.

Na reunião da AAPG, o problema sobre o mecanismo da Deriva foi levantado por um participante, o geofísico Harold Jeffreys, que comentou que *“a força rotacional considerada para explicar os movimentos dos continentes era muito pequena e insuficiente para produzir a deformação das cadeias de montanhas do Pacífico”*. Mas sua argumentação foi insuficiente para demover os geólogos.

Alguns outros céticos levantaram ambigüidades e contradições em relação às evidências: os continentes não se encaixam exatamente como peças de um quebra-cabeças, as reconstruções de Wegener explicam os depósitos glaciais do hemisfério sul mas não alguns depósitos de tilito; a flora *Glossopteris* não estava totalmente reunida... Alguns, no entanto, ponderaram que *“se os continentes se movessem, muitas dificuldades desapareceriam”*. Um deles afirmou, com evidente ambigüidade (HALLAM, 1985):

“Wegener prestou um valioso serviço, chamando a atenção para o fato de que massas continentais podem ter se movido em relação umas às outras. Ele não provou que elas se moveram, e muito menos mostrou que elas se moveram do modo que ele imagina. Ele sugeriu muito mas não provou nada”.

Anos depois, em 1930, Joly e Holmes responderam às objeções de Jeffreys num simpósio da Royal Society sobre paleoclimas. Eles concluíram que *“grandes mudanças de temperatura média anual só podem ser causadas por movimentos da crosta em relação aos pólos, do modo descrito por Wegener”*. Depois disso, a teoria da Deriva foi sendo progressivamente abandonada na Inglaterra. Apenas Holmes continuou considerando-a como uma hipótese altamente provável, mas não provada. Muito pouco foi acrescentado até o súbito desenvolvimento da ciência do paleomagnetismo na década 1950-1960.

A RESPOSTA AMERICANA PARA AS EVIDÊNCIAS

Nos Estados Unidos, a reação à teoria de Wegener foi quase totalmente negativa, apenas uns poucos cientistas de origem européia demonstraram simpatia. A crítica mais comum levantada foi a ausência de

Publicação original - Cadernos de Geociências, v. 6, Nov. 2001

um mecanismo adequado para explicar o movimento dos continentes (daí se entende porque, tanto os geólogos como os historiadores deram tanta ênfase a esta objeção!).

Foi argumentado que *“continentes rígidos se deslocando sobre um substrato fluido deveriam deformar o substrato, e não os continentes; então, não poderia ser este o mecanismo de formação de cadeias de montanhas continentais”*. Daly respondeu a esta objeção lembrando que eram os sedimentos adjacentes aos continentes que eram deformados para formar as montanhas.

Outros criticaram as reconstruções preconizadas por Wegener, argumentando que o encaixe dos continentes não era tão bom quanto Wegener pretendia; outros, ao contrário, levantaram que falhamentos durante a quebra/separação dos continentes e erosão das costas teriam modificado consideravelmente os seus contornos (de modo que o encaixe estaria bom demais). Uma declaração de Schuchert é bem representativa desta corrente:

Wegener...nos quer fazer acreditar que as linhas de fratura originais praticamente teriam conservado sua forma geográfica original durante 120 milhões de anos. Existe algum geólogo que subscreva esta surpreendente afirmação?

Enquanto os britânicos debatiam se os dados se encaixavam na teoria (e em muitos casos isto aconteceu), os americanos questionavam sobre que tipo de dados eram necessários. Uns procuravam similaridades dos contornos dos continentes, outros procuravam diferenças. Enquanto os britânicos discutiam se a teoria preenchia suas previsões, os americanos discutiam quais eram estas previsões. Para os americanos, as conseqüências da Deriva e as homologias geológicas (similaridades de padrões e formas baseados na observação direta das rochas no campo) eram temas de controvérsia. Os britânicos consideravam a correspondência dos fósseis “tão boa quanto podia se esperar”, mas o quanto era este “tão boa”? Segundo Schuchert as similaridades faunais eram muito poucas para que se afirmasse que os continentes estiveram unidos algum dia. Wegener responde que isto era conseqüência da preservação incompleta do registro fóssilífero. Este era um argumento familiar na comunidade geológica, ao qual os britânicos aderiram baseados em sua experiência, mas os americanos continuavam a debater. As evidências homológicas, que os britânicos achavam *“praticamente requerer”* a deriva, não eram convincentes para os americanos, que as descartavam por considerá-las como *“circunstanciais”*, não constituindo uma *“prova direta”*.

Entre os freqüentes e emocionados ataques à metodologia e objetivo de Wegener, temos o seguinte exemplo:

“Minha principal objeção à hipótese de Wegener está baseada no método do autor. Em minha opinião este método não é científico, mas toma

o familiar caminho de uma idéia inicial, busca seletiva de evidências concordantes na literatura, ignorando a maioria dos fatos que se opõem à idéia, e terminando num estado de auto-intoxicação, no qual a idéia subjetiva passa a ser considerado um fato objetivo. Se tivermos que acreditar na hipótese de Wegener, teremos de esquecer tudo o que foi aprendido nos últimos 70 anos e começar tudo de novo”.

Nos anos que se seguiram, as teorias fixistas continuaram em voga. Outros insistiam nas “*pontes continentais*”. Em muitas Universidades americanas, a Deriva tornou-se alvo de piadas de salas de aula, ou considerada um “*conto de fadas*”, talvez traduzindo um sentimento anti-germânico, existente entre as duas grandes guerras.

Porque os americanos eram mais céticos que os ingleses em relação às homologias, e muito mais preocupados com argumentos geofísicos sobre a dinâmica e cinemática da deriva? Quatro possibilidades, não excludentes entre si, se apresentam:

1) No início do século 20, os americanos estavam profundamente envolvidos numa rápida expansão da geofísica e na aplicação de técnicas instrumentais às Geociências.

2) Os geólogos americanos tinham menos experiência em raciocínio envolvendo evidências geológicas tradicionais, que os ingleses. Nas universidades e entre os “*patrões*” da ciência americanos, a História Natural era considerada inferior às ciências práticas.

3) A maior parte das evidências estratigráficas e paleontológicas resultaram de estudos de campo realizados na África, América do Sul e Índia. Por interesses da Coroa Britânica, os geólogos ingleses conheciam estes lugares bem melhor que os americanos. Talvez isso explique porque a Deriva foi quase que imediatamente aceita pelos ingleses.

4) O principal problema para os americanos eram os dados paleontológicos e outras homologias geológicas. Mas a paleontologia não era valorizada nos Estados Unidos, pelo contrário era sempre alvo de controvérsia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do fixismo à Teoria da Deriva dos Continentes

A falta de uma perspectiva integrada (visão holística da natureza) e o predomínio de uma visão setorial limitada a certas áreas particulares das Ciências da Terra alimentaram esta discussão. A Teoria da Deriva dos Continentes não tinha antecedentes e estava de acordo com os resultados obtidos pela investigação científica em diversas áreas. Ela congregava um grande número de conhecimentos relativos à isostasia e à radioatividade, apontando soluções para diversos problemas ainda não resolvidos e

apresentando a possibilidade de confirmação no futuro (POPPER, 1992).

Uma “nova era” da Geologia se anunciava, não pela elucidação da causa do movimento dos continentes, nem pelo mecanismo pelo qual ele ocorre, mas pela disponibilidade de um novo tipo de evidência. “*Um passo básico em todo trabalho científico, mas raramente discutido, é o processo de remover o discurso do nível pessoal para chegar a conclusões que não variem em função do indivíduo que observa*”. Qualquer um que tenha feito trabalhos de campo em Geologia ou tentou descrever um fóssil, sabe como é difícil chegar a uma descrição que não “dependa do observador”. Apelar para instrumentos é uma tentativa de se remover a influência de opiniões pessoais. Assim, a rejeição da Deriva Continental foi uma rejeição de evidências dependentes-do-observador, apesar da força dessas evidências. A rápida aceitação da Tectônica de Placas foi uma afirmação de um tipo de evidências “despersonalizadas” (medidas obtidas por aparelhos), as quais, porém, conduziram ao mesmo resultado que as evidências rejeitadas.

Contribuições das controvérsias

À luz de uma epistemologia racionalista, as controvérsias contribuem para a construção do conhecimento um conjunto diversificado de aspectos internalistas e externalistas, dentre os quais poderiam ser citados (MARQUES, 1996):

(a) Discussão Interdisciplinar:

Durante o amplo período da controvérsia sobre a Deriva, dois pontos foram importantes no que diz respeito às diferentes áreas de conhecimento envolvidas:

(1) os geólogos estavam preocupados com o conhecimento local (interpretados à luz do Uniformitarismo) e menos interessados em explicações globais (WINDLEY, 1993), o que criava conflito com especialistas de outros domínios e entre eles próprios; e

(2) os geólogos estavam “competindo” com geofísicos, enquanto os paleontólogos querelavam com especialistas em geologia estrutural. Por exemplo, no começo do século, os geofísicos apesar de apoiarem a isostasia, não concordavam com o deslocamento dos continentes (THOMPSON, 1991).

(b) Relevância das Relações Pessoais

Se é verdade que as teorias se desenvolvem segundo “programas de investigação”, também vale a pena ressaltar o importante papel desempenhado pela cooperação entre grupos de pesquisadores. Isto mostra a forte conotação social para a construção do conhecimento científico, como apontado por KUHN (1970).

(c) Papel Relevante do Desenvolvimento Tecnológico

O aparecimento “tardio” da Teoria da Tectônica de Placas está

diretamente relacionado ao desenvolvimento de equipamentos (gravímetros, magnetômetros, sismógrafos) e metodologias para estudo dos fundos oceânicos, assim como de novas técnicas radiométricas (K-Ar), de espectrômetros de massa mais precisos e da construção de uma escala de tempo a partir de dados paleomagnéticos.

(d) Importância da Linguagem e Significado da Comunicação

Desenvolver a capacidade de comunicação é importante para qualquer cientista. Wegener escreveu em alemão, o que constituiu um obstáculo para a difusão e interpretação dos seus pontos de vista. Quando se recorda da visão Kuhniana de "*revolução científica*", aceita-se que novas e velhas teorias exigem uma "tradução" das "linguagens" utilizadas para que comparações possam ser feitas (KUHN, 1970).

A Importância Didática

Como ferramenta para determinação (e/ou enfrentamento) de obstáculos epistemológicos: ou seja, terminar com a repetição de informações que não podem ser compreendidas pelo aluno, permitindo a realização de um trabalho cognitivo para superar os obstáculos da aprendizagem (CELINO, 1994).

A escola/universidade já não é apenas "*o lugar onde se aprende ciência*", mas sim "*o lugar onde se transforma o sistema cognitivo para poder aprender ciência*". Superar esse obstáculo requer conhecer bem a ciência que se ensina, e também conhecer sua história (ou seja saber como este conhecimento evoluiu).

Para definir os conteúdos dos cursos: um ensino fundamentado nos conceitos estruturais reduz os itens e subitens a serem ensinados e permite dedicar mais tempo ao desenvolvimento das capacidades dos alunos, com a utilização de temas aglutinadores. Os conceitos estruturais devem ser determinados a partir da análise das teorias científicas atuais e de sua história, que permite visualizar sua transformação, a elaboração de novas teorias, a utilização de novos métodos e novos instrumentos conceituais. Desta forma, os alunos "descobrem novos problemas a resolver" quando constroem certos conceitos e esses problemas os motivam a seguir aprendendo (CELINO, 1997).

Utilizar a história da (Geo)Ciência e a ciência da Epistemologia: isso permite introduzir na classe a discussão sobre a produção, a apropriação e o controle dos conhecimentos (CELINO, 2000). Então, isto não será um conteúdo a mais a ser ensinado, e sim um instrumento para ajudar o aluno a compreender a sociedade humana, os mecanismos de produção social e individual de conhecimentos, sua

reprodução e técnicas de transformação da natureza. Desenvolve-se, assim, a relação aluno - aluno, aluno - sociedade, ... Além disso, a introdução de um enfoque histórico e epistemológico levará ao questionamento da visão que os alunos trazem da Ciência e do processo de aquisição do conhecimento científico. O conhecimento científico é erroneamente visto por eles como algo que já vem pronto, acabado e é inquestionável. E mais, que as descobertas científicas (a aquisição do conhecimento) resultam simplesmente da "inspiração" e genialidade de um cientista iluminado. Esta visão "mítica" vai sendo substituída por uma conscientização de que o conhecimento científico resulta de um trabalho conjunto e que as teorias vigentes vão sendo modificadas ou substituídas, à medida que novos equipamentos e metodologias são desenvolvidos e/ou que novos dados são incorporados.

É importante ainda que os alunos tomem consciência de que são capazes de reproduzir o conhecimento já elaborado socialmente, porém num processo de reconstrução. É nesse sentido que a História da Ciência e a Epistemologia permitem ver as diferenças entre os processos individuais e os institucionais de construção de conhecimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CELINO, J.J. *Em Busca do Elo Perdido para Construção Crítica do Conhecimento Geológico: A Dinâmica Pedagógica no Ensino de Geologia Econômica*. Monografia de Especialização (inédito). AEAG-IG-UNICAMP. 113p. 10 anexos. (1994).
- CELINO, J.J. Diagnóstico general de los componentes educativos de las geociencias en tercer grado y su influencia en la reforma curricular: estudio de un caso. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, Espanha, v.5.3, p.200-204. (1997).
- CELINO, J.J. A Dinâmica Pedagógica no Ensino de Geologia Econômica na UFBA: Planejamento, Aplicação e Avaliação. *Cadernos IG/UNICAMP*. Vol. 8, no. 1/2. p. 51-65. (2000).
- HALLAM, A. Grandes Controvérsias Geológicas. Editorial Labor. Barcelona. p. 29-63; p. 109-171. (1985).
- HELLMAN, H. Grandes Debates da Ciência: Dez das maiores contendas de todos os tempos. Trad.: José Oscar de Almeida Marques. São Paulo; Ed. UNESP. pg. 183 - 203. (1999).
- KUHN, T.S. *The Structure of Scientific Revolution*. University of Chicago Press. 280p. (1970).
- LAKATOS, I. La metodología de los programas de investigación científica. 2ª ed. Alianza Editorial. Madrid. 170p. (1993).
- MARQUES, L. Construcción del conocimiento científico. Algunos ejemplos de Geociencias. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4.1, pg. 4-12. (1996).
- POPPER, K. R. *Conjectures and refutations: the growth of scientific knowledge*. London. Routledge and Kegan Paul Ed. 235p. (1963).

- POPPER, K.R. O Realismo do Objectivo da Ciência. 2ª Ed. Publicações Dom Quixote. Lisboa. 155p. (1992).
- PRAIA, J. *Formação de Professores no ensino de Geologia: Contributos para uma Didáctica fundamentada na epistemologia das Ciências. O caso da Deriva Continental. Tese de Doutoramento.* Universidade de Aveiro, Portugal. 250p. (1995).
- SENGÖR, A.M. C. Plate Tectonics and Orogenic Research after 25 Years: A Tethyan Perspective. *Earth Science Reviews*, 27 pg. 1-201. Elsevier Sc. Pub., Amsterdam. (1990).
- SOUSA SANTOS, B. *Introdução a uma ciência pós-moderna.* Edições Afrontamento. Lisboa. 305p. (1989).
- THOMPSON, D.B. Plate tectonics - *A Revolution in Science.* Unpublished course notes. Keele Sc. & Techn. Teachers Centre. 50p. (1991).
- WEGENER, A. *The Origin of Continents and Oceans.* London, Methuen & Co. Ltd. 120p. (1966).
- WINDLEY, B. F. Uniformitarismo today: plate tectonics is the key to the past. *Journal of Geological Society, London.* Vol. 150. p. 7 - 19. (1993).